

TUGAS AKHIR - K141502

DETEKSI EKSUDAT OTOMATIS DENGAN MENGGABUNGKAN BEBERAPA ACTIVE CONTOURS DAN KLASIFIKASI REGIONWISE

AHMAD AFIIF NAUFAL
NRP 05111440000041

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Dini Adni Navastara, S.Kom., M.Sc.

DEPARTEMEN INFORMATIKA
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



TUGAS AKHIR - K141502

**DETEKSI EKSUDAT OTOMATIS DENGAN
MENGGABUNGKAN BEBERAPA *ACTIVE*
CONTOURS DAN KLASIFIKASI *REGIONWISE***

AHMAD AFIIF NAUFAL
NRP 05111440000041

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Dini Adni Navastara, S.Kom., M.Sc.

DEPARTEMEN INFORMATIKA
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



UNDERGRADUATE THESIS - K141502

AUTOMATIC EXUDATE DETECTION BY COMBINING MULTIPLE ACTIVE CONTOURS AND REGION-WISE CLASSIFICATION

AHMAD AFIF NAUFAL
NRP 05111440000041

Supervisor I
Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc., Ph.D.

Supervisor II
Dini Adni Navastara, S.Kom., M.Sc

DEPARTMENT OF INFORMATICS
FACULTY OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LEMBAR PENGESAHAN

DETEKSI EKSUDAT OTOMATIS DENGAN MENGGABUNGKAN BEBERAPA ACTIVE CONTOURS DAN KLASIFIKASI REGIONWISE

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada
Rumpun Mata Kuliah Komputasi Cerdas dan Visi
Program Studi S-1 Departemen Informatika
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

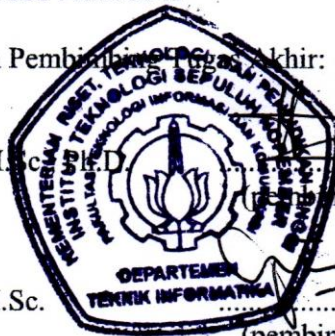
Oleh:

Ahmad Afiif Naufal
NRP : 05111440000041

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Akhir:

Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc.
NIP. 19490823 197603 2 001

Dini Adni Navastara, S.Kom., M.Sc.
NIP. 19851017 201504 2 001



(pembimbing 1)

(pembimbing 2)

SURABAYA
JUNI 2018

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DETEKSI EKSUDAT OTOMATIS DENGAN MENGGABUNGKAN BEBERAPA ACTIVE CONTOURS DAN KLASIFIKASI REGIONWISE

Nama Mahasiswa : Ahmad Afiif Naufal
NRP : 05111440000041
Departemen : Informatika FTIK-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc.,
Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Dini Adni Navastara, S.Kom., M.Sc.

ABSTRAK

Diabetic Retinopathy (DR) adalah penyakit mata yang diakibatkan oleh diabetes jangka panjang yang dapat menyebabkan hilangnya penglihatan (kebutaan). Tanda-tanda awal penyakit ini adalah mikroaneurisma dan eksudat. Eksudat tampak berwarna kekuningan dan bercahaya di latar belakang retina dengan ukuran dan bentuk yang tidak beraturan.

Tugas akhir ini mengusulkan sebuah metode deteksi eksudat otomatis dengan menggabungkan beberapa Active Contours dan klasifikasi Regionwise. Penggunaan beberapa algoritma pre-processing yang berbeda direkomendasikan untuk mengekstrak kandidat kontur dengan metode active contour untuk setiap citra pre-processed. Pendekatan yang diusulkan dapat dibagi menjadi empat tahap: ekstraksi kandidat, metode pre-processing citra, segmentasi kontur yang tepat, dan pelabelan kandidat sebagai eksudat sebenarnya atau bukan.

Performa metode segmentasi yang diusulkan diuji dengan membandingkan citra keluaran dengan citra ground truth menggunakan perhitungan sensitivity, ppv dan f-score. Rata-rata hasil performa dari hasil segmentasi untuk tiap citra adalah 85.28%, 80.28% dan 82.23%.. Hasil ini menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat memberikan hasil segmentasi

ketepatan eksudat yang akurat. Hasil tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan metode yang lebih baik untuk skrining diabetic retinopathy sehingga dapat memberikan kontribusi pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi informasi.

Kata kunci: Deteksi Eksudat, Active Contour, Klasifikasi Region-wise, Diabetic Retinopathy Screening, Multiple Pre-processing.

AUTOMATIC EXUDATE DETECTION BY COMBINING MULTIPLE ACTIVE CONTOURS AND REGIONWISE CLASSIFICATION

Student Name : Ahmad Afiif Naufal
Student ID : 05111440000041
Major : Informatics Department FTIf-ITS
1st Supervisor : Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc., Ph.D.
2nd Supervisor : Dini Adni Navastara, S.Kom., M.Sc.

ABSTRACT

Diabetic Retinopathy (DR) is an eye disease that caused by long term diabetes and it can lead to vision loss or blindness. Signs of this disease are microaneurysm and exudate. The exudates that appear yellowish and glowing in the background of the retina has irregular size and shape.

In this undergraduate thesis we propose automatic exudate detection by combining multiple Active Contours and Regionwise classification. The use of several different pre-processing algorithms is recommended to extract contour candidates by an Active Contour method for each preprocessed image. The approach can be divided into four stages: candidate extraction, image pre-processing method, precise contour segmentation, and the labeling of candidates as true or false exudates.

The performance of proposed segmentation method is tested by comparing the output image and ground truth image using sensitivity, ppv and f-score. The average performance result of the segmentation for each image are 85.28%, 80.28% dan 82.23%.. The result shows that the proposed method can provide accurate accuracy of precise exudate segmentation. We hope that the results of this thesis can provide a better method for diabetic retinopathy screening and also contribute to the development of science and information technology.

Keywords: Exudate Detection, Active Contour, Region-wise Classification, Diabetic Retinopathy Screening, Contours Combination, Multiple Pre-processing.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji syukur bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**DETEKSI EKSUDAT OTOMATIS DENGAN MENGGABUNGKAN BEBERAPA ACTIVE CONTOURS DAN KLASIFIKASI REGIONWISE**”.

Pengerjaan tugas akhir ini menjadi suatu pengalaman yang baik bagi penulis. Penulis dapat memperoleh banyak pengalaman yang berharga dalam memperdalam dan meningkatkan keilmuan dalam bidang informatika selama perkuliahan di Teknik Informatika ITS.

Tugas akhir ini selesai karena tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Ir. Handayani Tjandrasa, M.Sc., Ph.D. dan Dini Adni Navastara, S.Kom., M.Sc. selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberi ide, nasihat dan arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan tepat waktu.
2. Ibu penulis (Etis Pratyaswanti) yang telah memberikan dukungan moral, spiritual dan material serta senantiasa memberikan doa demi kelancaran dan kemudahan penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
3. Saudara kandung (Ahmad Irfaan Hibatullah) serta seluruh keluarga besar yang telah memberikan dukungan yang besar baik secara langsung maupun secara implisit.
4. Dr. Eng. Nanik Suciati, S.Kom., M.Kom. selaku kepala Laboratorium KCV yang bersedia meminjamkan salah satu komputer untuk pengerjaan tugas akhir dan Eva Mursidah, A.Md selaku staf administrasi Ruang Baca Departemen Informatika yang telah membantu penulis dalam mencari referensi terkait pengerjaan tugas akhir.

5. Teman-teman Member SMP (Dhila, Kinta, Prila, Puput), 6KM (Chika, Dessy, Dyah, Firdha, Syinta), Bemo V (Ayu, Salsa), RBT (Bella, Aul, Puput, Dwiyona, Nona, Novi): telah banyak membantu dan menemani penulis dalam menyelesaikan pengerjaan TA.
6. Teman-teman di Laboratorium KCV: para admin yang telah banyak membantu memfasilitasi penulis dalam pengerjaan, *user* TA lainnya (Ade, Anwar, Datin, Dini, Dzaky, Galang, Lucha, Mala, Tionia, Tepe, Upik) dan semua *user* KCV yang sudah menemani penulis.
7. Teman-teman admin Laboratorium Pemrograman: para teman yang telah banyak membantu memberikan dukungan masukan dalam pengerjaan (Bonbon, Brian, Dita, Hari, Mala, Michael, Nafiar, Nobby, Raca, Rina, Rizka, Sekbay, Yuuta) dan sudah menemani penulis.
8. Teman-teman di kost (Dwika, Faishal, Hendri) yang selalu menemani, menghibur dan memberikan semangat.
9. Teman-teman seperti Bella, Uyun, Vania yang telah memberikan banyak pencerahan juga nasihat kepada penulis dan mahasiswa angkatan 2014 lain yang sama-sama berjuang dari semester awal hingga akhir yang banyak memberi bantuan, semangat serta pelajaran hidup bagi penulis.
10. Pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Sehingga dengan kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan ke depan.

Surabaya, Juni 2018

Ahmad Afiif Naufal

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR KODE SUMBER	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.5. Manfaat Tugas Akhir.....	3
1.6. Metodologi	3
1.7. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II DASAR TEORI.....	7
2.1. <i>Diabetic Retinopathy</i> (DR).....	7
2.2. Bagian-bagian Citra Fundus Retina.....	8
2.2.1. <i>Optic Disc</i>	8
2.2.2. <i>Exudates</i>	9
2.3. Citra Digital.....	10
2.4. Citra <i>Grayscale</i>	11
2.5. Citra Biner	12
2.6. <i>Contrast Adjustment</i>	12
2.7. Operasi Morfologi	14
2.7.1. Dilasi	15
2.7.2. Erosi	15
2.7.3. <i>Opening</i>	16
2.7.4. <i>Closing</i>	16
2.8. <i>Thresholding</i>	17
2.9. <i>Multiple Pre-processing</i>	19

2.10. <i>Active Contour</i>	19
2.11. Kombinasi Kontur	20
2.12. Klasifikasi <i>Regionwise</i>	20
2.13. Normalisasi.....	20
2.14. <i>Confusion Matrix</i>	21
2.15. <i>Gradient Magnitude</i>	23
BAB III PERANCANGAN.....	25
3.1. Perancangan Sistem.....	25
3.2. Perancangan Data	28
3.3. Perancangan Proses	28
3.3.1. Ekstraksi Kandidat	28
3.3.2. Metode <i>Pre-processing</i> Citra	37
3.3.3. Deteksi Batasan Tepat untuk Tiap Kandidat	50
3.3.4. Klasifikasi Region-wise	56
BAB IV IMPLEMENTASI.....	59
4.1. Lingkungan Implementasi	59
4.1.1. Perangkat Keras.....	59
4.1.2. Perangkat Lunak.....	59
4.2. Implementasi Ekstraksi Kandidat.....	60
4.2.1. Implementasi Deteksi <i>Optic Disc</i> (OD)	60
4.2.2. Implementasi Deteksi Eksudat	63
4.3. Implementasi Metode <i>Pre-processing</i> Citra.....	65
4.3.1. Implementasi Ekstraksi Komponen Warna Hijau	65
4.3.2. Implementasi Ekstraksi Intensitas	65
4.3.3. Implementasi <i>Chromaticity Normalization</i>	66
4.3.4. Implementasi <i>Grey-world Normalization</i>	66
4.3.5. Implementasi CLAHE	67
4.3.6. Implementasi <i>Contrast Enhancement</i>	67
4.3.7. Implementasi <i>Illumination Correction</i>	68
4.3.8. Implementasi <i>Illumination Equalization</i>	69
4.3.9. Implementasi <i>White Top-hat Transformation</i>	69
4.4. Implementasi Deteksi Batasan Tepat untuk Tiap Kandidat	70
4.4.1. Implementasi Metode <i>Active Contour</i>	70
4.4.2. Implementasi Kombinasi Tiap Ekstraksi Kontur	71

4.5. Implementasi Klasifikasi <i>Region-wise</i>	71
BAB V PENGUJIAN DAN EVALUASI	75
5.1. Lingkungan Uji Coba	75
5.2. Data Uji Coba.....	75
5.3. Skenario Uji Coba	76
5.3.1. Uji Coba Penentuan Nilai Radius pada Metode <i>Active Contour</i>	76
5.3.2. Uji Coba Penentuan Metode Seleksi Fitur	77
5.3.3. Uji Coba Penentuan Jumlah Fitur.....	78
5.3.4. Uji Coba Perbandingan <i>Classifier</i>	79
5.3.5. Uji Coba Penentuan Jumlah Tetangga Terdekat	80
5.3.6. Hasil Ketepatan Segmentasi Eksudat	81
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	83
6.1. Kesimpulan.....	83
6.2. Saran.....	84
LAMPIRAN	85
DAFTAR PUSTAKA.....	103
BIODATA PENULIS.....	107

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Healthy Image</i>	7
Gambar 2.2 <i>Unhealthy Image</i>	7
Gambar 2.3 <i>Optic Disc</i> tampak pada <i>bright area</i>	9
Gambar 2.4 Eksudat pada Retina	9
Gambar 2.5 Citra Digital	11
Gambar 2.6 Citra <i>Grayscale</i>	12
Gambar 2.7 Citra Biner	13
Gambar 2.8 Contoh Citra <i>Contrast Adjustmenst</i>	13
Gambar 2.9 Contoh Histogram <i>Contrast Adjustmenst</i>	14
Gambar 2.10 Contoh Dilasi.....	15
Gambar 2.11 Contoh Erosi.....	16
Gambar 2.12 Contoh <i>Opening</i>	17
Gambar 2.13 Contoh <i>Opening</i> dan <i>Closing</i>	18
Gambar 2.14 Contoh <i>Filling</i>	18
Gambar 2.15 Contoh <i>Thresholding</i>	19
Gambar 2.16 <i>Mask Operator</i> Sobel	24
Gambar 3.1 Data Masukan Citra Fundus Retina.....	25
Gambar 3.2 Diagram Alir dari Sistem Aplikasi Deteksi Otomatis Eksudat	27
Gambar 3.3 Citra Hasil Ekstraksi Kandidat	29
Gambar 3.4 Diagram Alir dari Tahap Deteksi OD.....	30
Gambar 3.5 Ekstraksi Citra Masukan.....	31
Gambar 3.6 Pencarian Lokasi <i>Optic Disc</i>	32
Gambar 3.7 Menemukan Kontur <i>Optic Disc</i>	33
Gambar 3.8 Ekstraksi Citra Komponen Warna Hijau	33
Gambar 3.9 Diagram Alir dari Tahap Deteksi Kandidat Daerah Eksudat	34
Gambar 3.10 Menemukan Daerah Kandidat Eksudat	36
Gambar 3.11 Menemukan Kontur Eksudat	37
Gambar 3.12 Diagram Alir Tahap <i>Pre-processing</i>	38
Gambar 3.13 Citra Proses <i>Preprocessing</i> Komponen Warna Hijau	39

Gambar 3.14 Citra Proses <i>Preprocessing</i> Komponen Intensitas.	39
Gambar 3.15 Diagram Alir Tahap <i>Pre-processing Chromaticity Normalization</i>	40
Gambar 3.16 Citra Proses <i>Preprocessing Chromaticity Normalization</i>	40
Gambar 3.17 Diagram Alir Tahap <i>Pre-processing Grey-world Normalization</i>	41
Gambar 3.18 Citra Proses <i>Preprocessing Grey-world Normalization</i>	42
Gambar 3.19 Diagram Alir Tahap <i>Pre-processing Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)</i>	43
Gambar 3.20 Citra Proses <i>Preprocessing CLAHE</i>	43
Gambar 3.21 Diagram Alir Tahap <i>Pre-processing Contrast Enhancement</i>	44
Gambar 3.22 Citra Proses <i>Preprocessing Contrast Enhancement</i>	45
Gambar 3.23 Diagram Alir Tahap <i>Pre-processing Illumination Correction</i>	46
Gambar 3.24 Diagram Alir Tahap <i>Pre-processing Illumination Equalization</i>	48
Gambar 3.25 Diagram Alir Tahap <i>Pre-processing White Top-hat Transformation</i>	49
Gambar 3.26 Citra Proses <i>Preprocessing Illumination Correction</i>	49
Gambar 3.27 Citra Proses <i>Preprocessing Illumination Equalization</i>	50
Gambar 3.28 Citra Proses <i>Preprocessing White Top-hat Transformation</i>	50
Gambar 3.29 Diagram Alir dari Tahap Kombinasi Ekstraksi Kontur.....	51
Gambar 3.30 Kontur-kontur berbeda (B_1, \dots, B_9) untuk sembilan citra masukan <i>pre-processed</i> untuk tiap kandidat	52
Gambar 3.31 <i>Boundary $B'i$</i> dari kombinasi daerah $R'ii = 1, \dots, 9$ dan Tepi batas hasil segmentasi eksudat manual. Tanda merah	

menunjukkan daerah terpilih mempunyai nilai jarak terkecil dari tetangganya.....	56
Gambar 5.1 Citra Fundus Retina DIARETDB1	76

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Deteksi pada <i>Diabetic Retinopathy</i>	7
Tabel 2.2 <i>Confusion Matrix</i>	21
Tabel 3.1 Deskriptor <i>Region-wise</i> untuk klasifikasi kandidat eksudat.....	57
Tabel 4.1 Lingkungan Implementasi Perangkat Keras.....	59
Tabel 4.2 Lingkungan Implementasi Perangkat Lunak.....	60
Tabel 5.1 Hasil Uji Coba Penentuan Nilai Radius pada Metode <i>Active Contour</i>	77
Tabel 5.2 Hasil Uji Coba Penentuan Metode Seleksi Fitur	78
Tabel 5.3 Hasil Uji Coba Penentuan Jumlah Fitur	79
Tabel 5.4 Hasil Uji Coba Penentuan Classifier	80
Tabel 5.5 Hasil Uji Coba Penentuan Jumlah Tetangga Terdekat	81
Tabel 5.6 Hasil Ketepatan Segmentasi Eksudat	81

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR KODE SUMBER

Kode Sumber 4.1 Implementasi Pengambilan Komponen Citra Masukan	61
Kode Sumber 4.2 Implementasi Pencarian Lokasi OD	62
Kode Sumber 4.3 Implementasi Menemukan Kontur OD	63
Kode Sumber 4.4 Menemukan Daerah Kandidat	64
Kode Sumber 4.5 Implementasi Menemukan Kontur Eksudat ...	64
Kode Sumber 4.6 Implementasi Ekstraksi Komponen Warna Hijau	65
Kode Sumber 4.7 Implementasi Ekstraksi Intensitas	66
Kode Sumber 4.8 Implementasi <i>Chromaticity Normalization</i>	66
Kode Sumber 4.9 Implementasi <i>Grey-world Normalization</i>	67
Kode Sumber 4.10 Implementasi CLAHE	67
Kode Sumber 4.11 Implementasi <i>Contrast Enhancement</i>	68
Kode Sumber 4.12 Implementasi <i>Illumination Correction</i>	69
Kode Sumber 4.13 Implementasi <i>Illumination Equalization</i>	69
Kode Sumber 4.14 Implementasi <i>White Top-Hat Transformation</i>	70
Kode Sumber 4.15 Implementasi Metode <i>Active Contour</i>	71
Kode Sumber 4.16 Implementasi Kombinasi Tiap Ekstraksi Kontur	72
Kode Sumber 4.17 Implementasi Klasifikasi <i>Region-wise</i>	73

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas hal-hal yang mendasari tugas akhir. Bahasan meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, metodologi, dan sistematika laporan tugas akhir.

1.1. Latar Belakang

Lebih dari 360 juta orang di seluruh dunia menderita diabetes pada tahun 2012. Jumlah kasus yang didiagnosis telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir dan kecenderungan ini diperkirakan berlanjut. Penyakit diabetes jangka panjang juga dapat mempengaruhi mata, mengakibatkan penyakit yang disebut *diabetic retinopathy* (DR). Jika DR tetap tidak terdiagnosis atau ditangani dengan tidak tepat, hal itu dapat menyebabkan hilangnya penglihatan. Selain itu, DR adalah penyebab paling umum kebutaan di dunia. Namun, ada cara pengobatan yang tepat untuk memperlambat kerusakan mata ini. Dengan demikian, sistem skrining otomatis untuk DR akan sangat penting terutama di negara-negara berkembang, di mana hampir 40% kasus tetap tidak terdiagnosis. Untuk memperlambat kerusakan mata, sistem skrining otomatis dibutuhkan guna mendeteksi tanda-tanda awal penyakit ini. Tanda DR seperti itu adalah mikroaneurisma dan eksudat. Eksudat timbul saat cairan memancar dari jaringan karena kapiler yang terluka. Karena cairan tersebut mengandung protein, puing-puing seluler dan sel darah putih, eksudat tampak berwarna kekuningan dan bercahaya di latar belakang retina. Artinya, dengan mempertimbangkan perbedaan intensitas, eksudat dapat dibedakan secara lebih efisien dari latar belakang daripada mikroaneurisma dari segmen pembuluh darah. Tantangan lainnya, cairan tersebut dapat mengalir bebas, sehingga eksudat memiliki berbagai ukuran dan bentuk tidak beraturan.

Dalam tugas akhir ini, sebuah metode untuk deteksi eksudat diusulkan yang menggabungkan pendekatan utama (morfologi dan

klasifikasi) dalam kerangka tunggal. Tujuannya adalah memanfaatkan beberapa metode peningkatan citra untuk mengenali kandidat *boundaries* tepat yang diekstraksi dengan ekstraktor kandidat berbasis morfologi. Motivasi di balik tujuan ini adalah bahwa fitur yang diambil dari daerah yang tersegmentasi lebih tepat untuk membedakan eksudat sebenarnya dari yang salah. Penggunaan beberapa algoritma *pre-processing* yang berbeda direkomendasikan untuk mengekstrak kandidat kontur dengan metode *active contour* untuk setiap citra *pre-processed*. Kontur eksudat akhir didapatkan dari kombinasi kandidat kontur ini. Proses akhir, classifier *region-wise* diterapkan untuk menentukan apakah kandidat dianggap eksudat atau tidak. Penggabungan yang diusulkan dari morfologi *grayscale* dan segmentasi berbasis *active contour* dengan klasifikasi *region-wise* dapat memberikan hasil kinerja yang baik.

Hasil tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan metode yang lebih baik untuk skrining *diabetic retinopathy* sehingga dapat menyelesaikan permasalahan di atas dengan optimal dan diharapkan dapat memberikan kontribusi pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi informasi.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini dapat dipaparkan sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan deteksi eksudat menggunakan metode penggabungan beberapa *active contours*?
2. Bagaimana melakukan deteksi eksudat menggunakan metode klasifikasi *region-wise* untuk mengurangi jumlah daerah bukan eksudat?
3. Bagaimana menghitung akurasi deteksi eksudat menggunakan metode penggabungan beberapa *active contours* dan klasifikasi *region-wise*?

1.3. Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini memiliki beberapa batasan antara lain:

1. *Dataset* yang digunakan untuk percobaan adalah *dataset* yang tersedia untuk umum (publik) yaitu *dataset* DIARETDB1 - *Standard Diabetic Retinopathy Database*.
2. Metode untuk deteksi eksudat yang digunakan dengan menggabungkan beberapa *active contours* dan klasifikasi *region-wise*.
3. Implementasi sistem menggunakan MATLAB.

1.4. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah mengetahui akurasi pada metode penggabungan beberapa *active contours* dan klasifikasi *region-wise* untuk mendeteksi luka terang yang disebabkan oleh diabetes retinopati, terutama untuk eksudat.

1.5. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang diperoleh dari pembuatan tugas akhir ini adalah untuk membantu dunia medis dengan memberikan metode yang lebih baik dari beberapa metode deteksi eksudat yang telah ada.

1.6. Metodologi

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Pada studi literatur, dilakukan pengumpulan data dan studi terhadap sejumlah referensi yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir. Referensi tersebut didapatkan dari beberapa artikel yang dipublikasikan oleh jurnal. Selain itu akan digunakan sejumlah referensi yang diperlukan dalam pembuatan sistem, yaitu mengenai penggabungan beberapa *active contours* dan klasifikasi *regionwise*. Studi literatur juga dilakukan melalui pencarian referensi dari internet yang membahas mengenai informasi yang dibutuhkan.

2. Analisis dan Desain Perangkat Lunak

Pada tahap ini disusun rancang bangun dari perangkat lunak yang akan dibuat. Pengguna dapat memilih citra fundus retina yang telah disediakan sebagai data masukan. Kemudian sistem akan memproses citra fundus retina dengan melakukan *multiple pre-processing*, segmentasi *optic disc*, mendapatkan deteksi kandidat eksudat dari citra-citra tersebut terlebih dahulu. Setelah itu dilakukan penggabungan dari hasil setiap data citra dan didapatkan batas eksudat yang tepat. Terakhir adalah klasifikasi *region-wise* mendapatkan hasil yang akurat. Setelah proses selesai, sistem akan menampilkan citra masukan sebagai citra sehat atau tidak sehat.

3. Implementasi Perangkat Lunak

Sistem deteksi eksudat pada *diabetic retinopathy* untuk citra fundus retina akan dibuat dengan bahasa pemrograman MATLAB menggunakan kakas bantu IDE MATLAB 9.2 (R2017a) pada platform *desktop*. *Toolbox* yang digunakan untuk mendukung pengerjaan adalah *image processing toolbox*.

4. Uji Coba dan evaluasi

Metode Analisis:

- Ekstraksi kandidat berdasarkan morfologi dan eliminasi *Optic Disc*.
- *Pre-processing* untuk tiap metode yang diusulkan dengan citra masukan.
- Penentuan *boundary* yang tepat untuk tiap kandidat melalui kombinasi kontur.
- Ekstraksi fitur *region-based*.
- Pemberian label tiap kandidat untuk penentuan bagian dari eksudat atau bukan eksudat melalui klasifikasi *region-wise*.
- Hasil citra masukan tersebut kemudian ditandai sebagai citra sehat atau tidak sehat.
- Hitung nilai *sensitivity*, *specificity* dan *accuracy* dengan uji coba pada data dataset.

- Hitung nilai *sensitivity*, *ppv* dan *f-score* untuk tiap citra pada data dataset yang digunakan.
5. Penyusunan buku Tugas Akhir
- Pada tahap ini dilakukan proses dokumentasi dan pembuatan laporan dari seluruh konsep, dasar teori, implementasi, proses yang telah dilakukan, dan hasil-hasil yang telah didapatkan.

1.7. Sistematika Penulisan

Buku tugas akhir ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran dari pengerjaan tugas akhir ini. Selain itu, diharapkan dapat berguna untuk pembaca yang tertarik untuk melakukan pengembangan lebih lanjut. Secara garis besar, buku tugas akhir terdiri atas beberapa bagian seperti berikut ini.

Bab I Pendahuluan

Bab yang berisi mengenai latar belakang, tujuan dan manfaat dari pembuatan tugas akhir. Selain itu permasalahan, batasan masalah, metodologi yang digunakan dan sistematika penulisan juga merupakan bagian dari bab ini.

Bab II Dasar Teori

Bab ini berisi penjelasan secara detail mengenai dasar-dasar penunjang dan teori-teori yang digunakan untuk mendukung pembuatan tugas akhir ini.

Bab III Perancangan

Bab ini berisi tentang perancangan desain sistem deteksi eksudat pada *diabetic retinopathy* untuk citra fundus retina.

Bab IV Implementasi

Bab ini membahas implementasi dari desain yang telah dibuat pada bab sebelumnya. Penjelasan berupa kode yang digunakan untuk proses implementasi.

Bab V Uji Coba dan Evaluasi

Bab ini membahas tahap-tahap uji coba. Kemudian hasil uji coba dievaluasi untuk kinerja dari aplikasi yang dibangun.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Bab ini merupakan bab terakhir yang berisi kesimpulan dari hasil uji coba yang dilakukan dan saran untuk pengembangan aplikasi ke depannya.

Daftar Pustaka

Merupakan daftar referensi yang digunakan untuk mengembangkan tugas akhir.

Lampiran

Merupakan bab tambahan yang berisi daftar istilah atau kode-kode sumber yang penting pada sistem.

BAB II

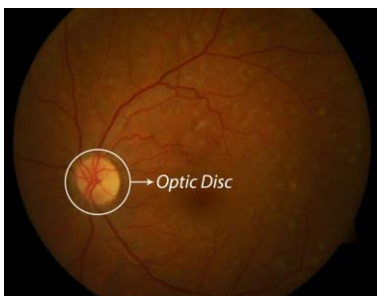
DASAR TEORI

Pada bab ini diuraikan mengenai dasar-dasar teori yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir dengan tujuan untuk memberikan gambaran secara umum terhadap penelitian yang dikerjakan.

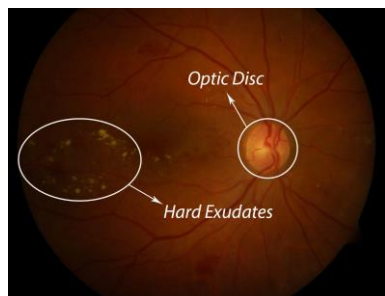
2.1. *Diabetic Retinopathy (DR)*

Diabetic Retinopathy adalah suatu kondisi yang terjadi pada orang dengan diabetes, yang menyebabkan kerusakan progresif pada retina, lapisan peka cahaya di belakang mata. Ini adalah pemandangan yang mengancam komplikasi serius diabetes.

Dimana hal tersebut merupakan hasil dari kerusakan yang disebabkan oleh diabetes untuk pembuluh darah kecil yang terletak di retina. Pembuluh darah yang rusak dari *diabetic retinopathy* dapat menyebabkan kehilangan penglihatan [1]. Pada **Gambar 2.1** dan **Gambar 2.2** ditunjukkan contoh citra fundus retina.



Gambar 2.1 *Healthy Image*



Gambar 2.2 *Unhealthy Image*

Tabel 2.1 Deteksi pada *Diabetic Retinopathy*

Deteksi	Definisi
<i>Healthy Image</i>	Citra <i>fundus</i> retina tanpa eksudat
<i>Unhealthy Image</i>	Citra <i>fundus</i> retina dengan eksudat baik <i>hard exudates</i> maupun <i>soft exudates</i>

2.2. Bagian-bagian Citra Fundus Retina

Pada bagian ini hanya akan dijelaskan istilah-istilah bagian mata yang sering dibahas dalam buku Tugas Akhir ini. Bagian mata itu meliputi *optic disc* dan *exudates*.

2.2.1. Optic Disc

Optic disc (OD) atau pusat syaraf mata adalah daerah pada mata tempat syaraf mata memasuki retina dan merupakan pertemuan seluruh syaraf mata. *Optic disc* juga merupakan titik masuk untuk mata manusia normal membawa 1-1.2 juta neuron dari mata ke otak. Suatu *optic disc* yang normal berwarna oranye sampai merah muda. Apabila sebuah *optic disc* berwarna merah muda pucat sampai putih mengindikasikan akan suatu kondisi penyakit [4].

Optic disc merupakan referensi dari fitur-fitur lain dalam citra fundus. Untuk keberhasilan deteksi ketidaknormalan, seringkali diperlukan suatu cara untuk memisahkan anatomi normal. Deteksi OD merupakan salah satu langkah penting dalam sistem diagnosa *diabetic retionopathy* secara otomatis. Pada penelitian-penelitian sebelumnya, segmentasi OD selalu menjadi tahapan awal sebelum mendeteksi fitur-fitur penyakit. Deteksi OD diperlukan untuk membedakannya dengan *bright lesion (exudate)* yang memiliki kemiripan karakteristik visual dengan OD. OD harus dipisahkan dari fitur-fitur penyakit agar tidak terjadi salah diagnosis yang bisa berakibat fatal. Keberhasilan segmentasi OD sangat diperlukan untuk melakukan berbagai macam analisis terutama untuk pendeteksian penyakit mata ataupun pengobatan. Hal itu akan ditangani lebih lanjut oleh dokter mata [4].

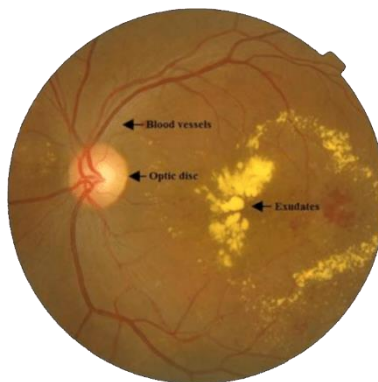
Pada **Gambar 2.3** ditunjukkan citra retina *standard* dengan *optic disc* yang ditandai dengan *bright area*. *Bright area* yaitu area dengan warna yang terang dengan bentuk lingkaran. Dalam mendeteksi *hard exudates* nantinya, area tersebut akan dihilangkan. Hal tersebut dilakukan supaya tidak timbul kesalahan dalam proses segmentasi.



Gambar 2.3 Optic Disc tampak pada bright area

2.2.2. Exudates

Eksudat adalah cairan radang ekstrasvaskular dengan berat jenis tinggi (diatas 1.020) dan seringkali mengandung protein 2-4 mg % serta sel-sel darah putih yang melakukan emigrasi. Cairan ini tertimbun sebagai akibat permeabilitas vaskular (yang memungkinkan protein plasma dengan molekul besar dapat terlepas), bertambahnya tekanan hidrostatik intravascular sebagai akibat aliran lokal yang meningkat pula dan serentetan peristiwa rumit leukosit yang menyebabkan emigrasinya.



Gambar 2.4 Eksudat pada Retina

Exudates terjadi ketika terdapat lipid atau lemak bocor yang terbentuk ketika kebocoran cairan dari pembuluh darah abnormal. Hal itu sering terjadi di berbagai jenis penyakit mata. Ketika cairan *exudates* yang mengalami kebocoran ke mata akan diserap kembali. Namun lipid tidak dapat diserap kembali. Lipid akan membentuk suatu *cluster* tersendiri pada retina membentuk suatu *hard exudates*.

Exudates dapat menyebabkan kehilangan penglihatan yang parah ketika terjadi pada bagian retina paling sensitif. Bagian retina yang dimaksud yaitu di bagian tengah retina atau makula. Secara visual *exudates* muncul dalam warna putih kekuning-kuningan dengan berbagai bentuk, ukuran dan lokasi. Biasanya *exudates* tampak secara individual atau membentuk suatu cluster. *Exudates* memiliki intensitas warna yang sama dengan *optic disc* namun dengan ukuran yang lebih kecil [5].

Hard Exudates ditemukan di dalam berbagai ukuran. *Hard Exudates* merupakan suatu bercak yang disebabkan merembesnya cairan yang kaya lemak dan protein bersama darah ke mata. Hal ini dapat mencegah cahaya untuk mencapai retina. Selain itu juga dapat menyebabkan gangguan penglihatan. *Soft Exudates* terdapat pada tahap ekstrem *Diabetic Retinopathy*, bercak mirip kapas yang sering disebut juga dengan "*cotton wool spot*". Timbulnya area non perfusi yang luas dan kebocoran darah atau plasma melalui endotel yang rusak. Hal itulah yang menyebabkan munculnya *cotton wool spot* dalam retina [5].

Pada **Gambar 2.4** ditunjukkan *hard exudates* pada citra fundus retina. Tampak bahwa *hard exudates* memiliki warna *exudates* yang lebih terang dibanding dengan *background*.

2.3. Citra Digital

Citra digital merupakan citra yang didefinisikan menjadi fungsi dua dimensional $f(x, y)$ dimana x dan y adalah koordinat spasial dan amplitudo f pada setiap pasangan koordinat (x, y) disebut sebagai intensitas citra. Proses digitalisasi citra merupakan cara mendefinisikan sebuah citra sebagai fungsi dua dimensi baik

berdasarkan koordinat maupun amplitudonya [6]. Teknologi dasar untuk menciptakan dan menampilkan warna pada citra digital berdasarkan kombinasi RGB. Citra digital berwarna RGB ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Citra Digital

RGB merupakan suatu model warna yang terdiri dari merah, hijau dan biru yang digabungkan dalam membentuk suatu susunan warna yang luas. Sebuah jenis warna, dapat dibayangkan sebagai sebuah vektor di ruang dimensi tiga yang biasanya dipakai dalam matematika. Koordinatnya dinyatakan dalam bentuk tiga bilangan yaitu komponen warna merah, komponen warna hijau dan komponen warna biru [7].

2.4. Citra *Grayscale*

Citra *grayscale* merupakan citra digital yang setiap pikselnya hanya menggunakan warna pada tingkatan warna abu-abu [8]. Warna abu-abu adalah satu warna pada ruang RGB dengan komponen merah, hijau dan biru yang mempunyai intensitas sama. Pada citra *grayscale* hanya perlu menyatakan nilai intensitas untuk tiap piksel sebagai nilai tunggal. Citra yang ditampilkan dari citra *grayscale* terdiri atas warna abu-abu yang bervariasi antara hitam dan putih, variasi warna hitam menunjukkan bagian dengan

intensitas rendah sedangkan warna putih menunjukkan bagian dengan intensitas tinggi. Citra *grayscale* ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Citra Grayscale

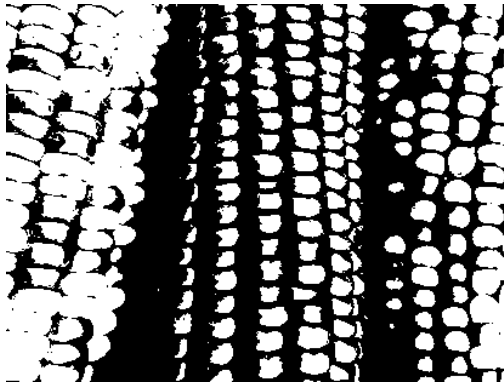
2.5. Citra Biner

Citra biner merupakan citra digital yang setiap pikselnya hanya memiliki dua kemungkinan nilai warna yakni 0 merepresentasikan warna hitam dan 1 merepresentasikan warna putih. Proses pembineran dilakukan dengan membulatkan keatas atau kebawah untuk setiap nilai keabuan dari piksel yang berada diatas atau dibawah nilai *threshold*. Metode untuk menentukan besarnya nilai *threshold* disebut *thresholding*. Citra biner diperoleh melalui proses pemisahan piksel-piksel berdasarkan derajat keabuan yang dimilikinya. Piksel yang memiliki derajat keabuan lebih kecil dari nilai *threshold* diberikan nilai 0, sementara piksel yang memiliki derajat keabuan yang lebih besar dari nilai *threshold* batas diberikan nilai 1. Citra biner ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.

2.6. Contrast Adjustment

Contrast adjustment merupakan teknik peningkatan citra yang digunakan untuk memperbaiki intensitas pada citra. Perbaikan intensitas citra dilakukan dengan memetakan nilai intensitas ke

dalam suatu nilai rentang tertentu. Sebagai contoh pada **Gambar 2.8 (a)** dan **Gambar 2.9 (a)** menunjukkan citra dengan kontras yang rendah beserta histogramnya.



Gambar 2.7 Citra Biner



(a)

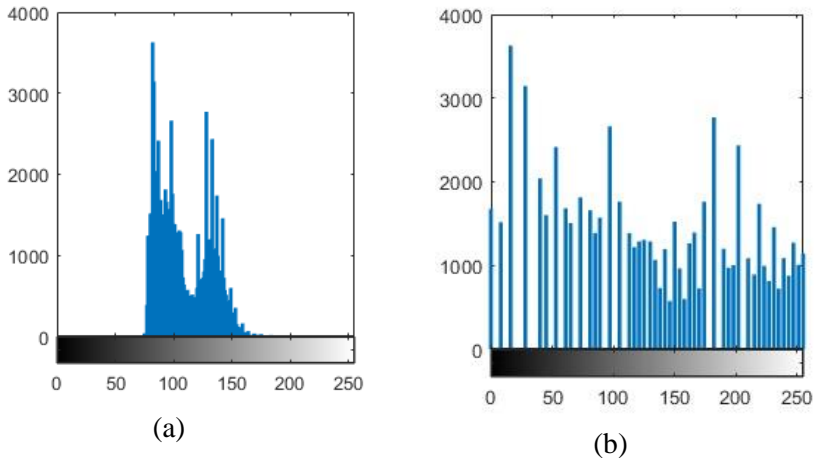


(b)

Gambar 2.8 Contoh Citra *Contrast Adjustmenst*
(a) Citra Asli, (b) Citra Hasil *Contrast Adjustment*

Histogram citra tersebut memiliki rentang nilai yang berkumpul di tengah. Maka diperlukan pemetaan ulang nilai-nilai intensitas citra tersebut sehingga dapat mengisi seluruh rentang

intensitas antara $[0, 255]$ dengan begitu dapat meningkatkan kontras pada citra [11].



Gambar 2.9 Contoh Histogram *Contrast Adjustmenst*
(a) Histogram Asli, (b) Histogram Hasil *Contrast Adjustment*

Hasil *contrast adjustment* pada citra memiliki histogram dengan rentang yang merata antara $[0, 255]$. Contoh penerapan *contrast adjustment* beserta histogramnya ditunjukkan pada **Gambar 2.8 (b)** dan **Gambar 2.9 (b)**.

2.7. Operasi Morfologi

Operasi morfologi memiliki peranan yang penting dalam pengolahan citra digital. Prinsip dari operasi morfologi adalah mengekstrak komponen-komponen citra yang berguna dalam representasi dan deskripsi bentuk seperti ekstrak *boundary* dari suatu *region* [9].

Dalam operasi morfologi seperti dilasi, erosi, *opening* dan *closing* sering digunakan *structuring element*. *Structuring element* atau *kernel* merupakan kumpulan pola spesifik berupa koordinat

angka diskrit. Representasi angka koordinat yang biasa digunakan adalah koordinat *cartesian* [10].

2.7.1. Dilasi

Dilasi merupakan operasi yang membuat sebuah objek berkembang atau menebal sesuai dengan bentuk *structuring element* yang digunakan. Dalam operasi dilasi, citra asli akan mengalami pelebaran dengan mengikuti bentuk *structuring element* yang digunakan.

Ilustrasi penggunaan dilasi ditunjukkan pada **Gambar 2.10**. Pada **Gambar 2.10** (a) menunjukkan bahwa sebelum dilakukan operasi dilasi, terdapat beberapa teks pada citra asli. Setelah mengalami dilasi dengan *structuring element* yang sesuai, maka teks mengalami penebalan sesuai dengan *structuring element* yang digunakan seperti pada **Gambar 2.10** (b). Sehingga dari proses dilasi tersebut, teks akan menjadi lebih jelas dan mudah dibaca. Oleh karena itu, dilasi dapat digunakan untuk memperbaiki citra asli yang rusak. Selain itu, bagian citra yang terputus juga dapat disambungkan dengan menggunakan operasi dilasi [9].



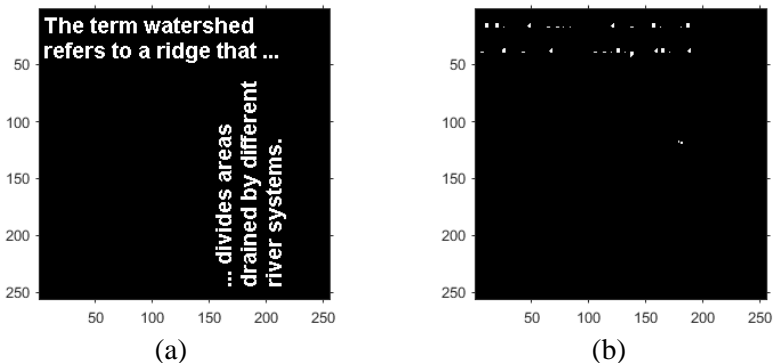
Gambar 2.10 Contoh Dilasi
(a) Citra Asli, (b) Citra Hasil Dilasi

2.7.2. Erosi

Erosi merupakan operasi yang akan membuat sebuah objek menyusut atau menipis. Seperti pada operasi dilasi, objek akan

menyusut atau menipis sesuai dengan bentuk dan ukuran dari *structuring element* [9].

Ilustrasi penggunaan erosi ditunjukkan pada citra teks seperti pada **Gambar 2.11**. Pada **Gambar 2.11** (a), menunjukkan citra teks sebelum dilakukan erosi. Kemudian pada **Gambar 2.11** (b), menunjukkan hasil erosi dari citra teks.



Gambar 2.11 Contoh Erosi
(a) Citra Asli, (b) Citra Hasil Erosi

2.7.3. Opening

Opening umumnya digunakan untuk menghaluskan kontur dari sebuah objek, memutuskan garis tipis yang menghubungkan dua *region* besar dan menghilangkan tonjolan tipis [9].

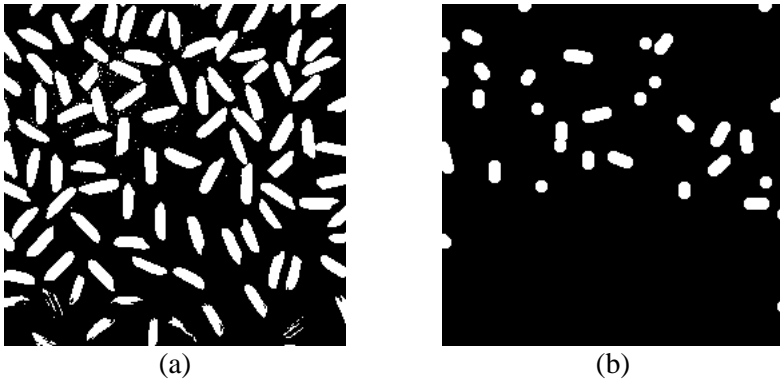
Ilustrasi penggunaan operasi *opening* dengan *structuring element* ditunjukkan pada citra beras seperti pada **Gambar 2.12**. **Gambar 2.12** (a) menunjukkan citra beras sebelum dilakukan *opening*. Kemudian pada **Gambar 2.12** (b), menunjukkan hasil *opening* dari citra beras, dengan menghapus beras yang ukurannya memiliki radius kurang dari ukuran piksel tertentu dengan *structuring element* yang digunakan.

2.7.4. Closing

Closing digunakan untuk menghaluskan bagian dari kontur tetapi berbeda dengan *opening*, *closing* biasanya menyatukan

bagian kecil yang terputus dan menyatukan cekungan yang panjang dan tipis. *Closing* juga digunakan untuk menghilangkan lubang kecil dan mengisi celah yang terdapat dalam kontur.

Ilustrasi penggunaan operasi *opening* dan *closing* ditunjukkan seperti pada **Gambar 2.13**. Operasi *opening* seolah-olah akan membuka sebuah citra seperti pada **Gambar 2.13** (b). Sebaliknya, operasi *closing* seolah-olah menutup sebuah citra seperti yang terlihat pada **Gambar 2.13** (c) dan **Gambar 2.13** (d).



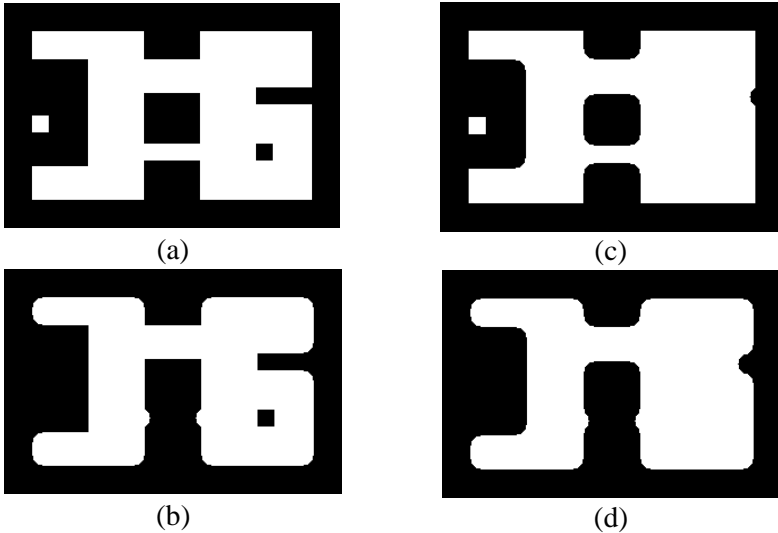
Gambar 2.12 Contoh *Opening*
(a) Citra Asli, (b) Citra Hasil *Opening*

Penerapan lain dari morfologi seperti *filling* suatu *region*. *Filling* dimulai dari satu titik di dalam *boundary* tujuannya adalah mengisi keseluruhan *region* dengan nilai 1. Sehingga lubang dengan nilai 0 dapat terisi dengan nilai 1 dan terlihat seperti satu kesatuan *region* [6]. Contoh penerapan *filling* ditunjukkan pada **Gambar 2.14**.

2.8. Thresholding

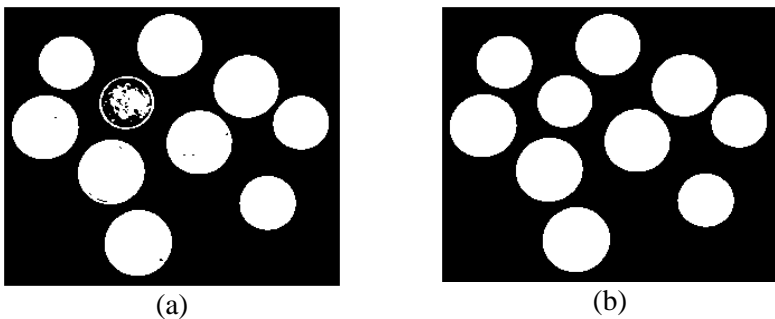
Thresholding merupakan metode yang paling umum yang digunakan dalam segmentasi citra. Dari sebuah citra *grayscale*, *thresholding* dapat digunakan untuk membentuk sebuah citra biner [12]. Selama proses *thresholding*, sebuah piksel dari sebuah citra

ditandai sebagai *foreground* piksel apabila nilainya lebih besar daripada suatu nilai *threshold* dan ditandai sebagai *background* apabila nilainya lebih kecil daripada suatu nilai *threshold* tersebut. Pada **Gambar 2.15** ditunjukkan contoh penerapan *thresholding*.



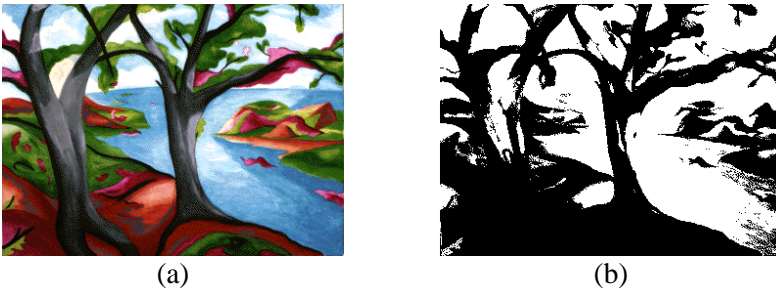
Gambar 2.13 Contoh *Opening* dan *Closing*

(a) Citra Asli, (b) Citra Hasil *Opening*, (c) Citra Hasil *Closing*, (d) Citra Hasil *Closing* dari (b)



Gambar 2.14 Contoh *Filling*

(a) Citra Asli, (b) Citra Hasil *Filling*



Gambar 2.15 Contoh Thresholding
(a) Citra Asli, (b) Citra Hasil Thresholding

Parameter utama dalam proses *thresholding* adalah pemilihan dari nilai *threshold*. Beberapa metode dalam pemilihan nilai *threshold* antara lain adalah dengan memilih langsung nilai *threshold* atau menggunakan algoritma *thresholding*.

2.9. Multiple Pre-processing

Tahap meningkatkan kualitas citra sehingga dapat meningkatkan kemungkinan dalam keberhasilan pada tahap pengolahan citra digital berikutnya dengan optimal. Tahap ini sama seperti tahap *pre-processing* pada umumnya namun yang membedakan adalah jumlah tahap *pre-processing* yang digunakan.

2.10. Active Contour

Active contour (snake) adalah salah satu pendekatan untuk segmentasi. Metode segmentasi yang menggunakan model kurva tertutup yang dapat bergerak melebar ataupun menyempit. Berupa kumpulan titik yang bergerak mendekati batasan dari suatu objek, konsep dari *active contour* mirip dengan menggunakan balon untuk mendapatkan bentuk dari suatu objek. Suatu objek dimasukkan ke dalam balon, dengan mengurangi udara di dalam balon tersebut, sehingga balon semakin lama semakin kecil. Batasan dari objek tersebut ditemukan ketika balon tidak lagi mengecil. Berikut adalah gambaran sederhana dari kerja *active contour*: sebuah inisialisasi kurva diletakkan di luar dari objek yang akan

disegmentasi, kemudian melalui proses iterasi kurva tersebut akan bergerak mendekati batasan dari objek hingga akhirnya berhenti setelah mendapati batasan objek tersebut.

2.11. Kombinasi Kontur

Dengan penggabungan beberapa kontur yang didapatkan dari hasil *pre-processing* citra. Melalui kombinasi kontur yang telah diekstraksi sebelumnya diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih baik untuk mendapatkan objek yang diinginkan.

2.12. Klasifikasi *Regionwise*

Pemberian label untuk tiap daerah sebagai daerah objek yang akan diambil dalam pengolahan citra selanjutnya atau tidak. Langkah ini dapat dianggap sebagai langkah *post-processing*, di mana masing-masing daerah kandidat objek dengan tepat dideteksi *boundary* objek tersebut oleh pengklasifikasian menggunakan beberapa metode pengelompokan yang disesuaikan secara optimal berdasarkan fitur *region-based*.

2.13. Normalisasi

Normalisasi merupakan teknik untuk menstandarkan atau menyamakan rentang data sehingga tidak ada satu atribut yang terlalu dominan atas atribut yang lain. Salah satu teknik normalisasi adalah normalisasi skala [14].

Normalisasi skala merupakan teknik penstandaran data pada suatu rentang tertentu, umumnya 0-1. Diketahui nilai maksimal dari suatu piksel citra sebagai N_{max} dan nilai minimal dari suatu piksel citra adalah N_{min} . Citra yang dinormalisasi disimbolkan dengan N . Nilai hasil normalisasi didapatkan dari rumus perhitungan normalisasi skala ditunjukkan pada persamaan (2.1) berikut:

$$Normalisasi = \frac{N - N_{min}}{N_{max} - N_{min}} \quad (2.1)$$

2.14. Confusion Matrix

Confusion matrix merupakan matriks yang mengandung informasi tentang kelas sebenarnya dan prediksi yang dihasilkan oleh sistem klasifikasi. *Confusion matrix* banyak digunakan untuk menguji performa dari suatu metode klasifikasi [13]. Struktur *confusion matrix* untuk tiga kelas ditunjukkan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Confusion Matrix

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Unhealthy Image (yes)</i>	<i>Healthy Image (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Unhealthy Image (yes)</i>	<i>true positives (TP)</i>	<i>false negatives (FN)</i>	<i>positives</i>
	<i>Healthy Image (no)</i>	<i>false positives (FP)</i>	<i>true negatives (TN)</i>	<i>negatives</i>
		<i>positives'</i>	<i>negatives'</i>	<i>all</i>

Keterangan:

- TP = jumlah data uji yang kelas prediksinya sama dengan kelas yang sebenarnya untuk eksudat
- TN = jumlah data uji yang kelas prediksinya sama dengan kelas yang sebenarnya untuk tidak ada eksudat
- FP = jumlah data uji yang diprediksi sebagai eksudat tapi kelas sebenarnya tidak ada eksudat
- FN = jumlah data uji yang diprediksi sebagai tidak ada eksudat tapi kelas sebenarnya ada eksudat

Beberapa nilai evaluasi yang bisa dihitung berdasarkan *confusion matrix* yaitu *sensitivity*, *specificity*, dan *accuracy*. *Sensitivity* atau *True Positive Rate (TPR)* adalah perbandingan dari

jumlah data TP terhadap *actual class positive*. Rumus perhitungan dari sensitivitas ditunjukkan pada persamaan (2.2) berikut:

$$SN = \frac{\text{true positives}}{\text{positives}} \quad (2.2)$$

Specificity atau *True Negative Rate (TNR)* adalah perbandingan dari jumlah data TN terhadap *actual class negative*. Rumus perhitungan dari spesifitas ditunjukkan pada persamaan (2.3) berikut:

$$SP = \frac{\text{true negatives}}{\text{negatives}} \quad (2.3)$$

Accuracy (ACC) adalah proporsi jumlah *predicted positive* dan *predicted negative* yang terklasifikasi secara tepat terhadap semua data. Rumus perhitungan dari akurasi ditunjukkan pada persamaan (2.4) berikut:

$$ACC = \frac{\text{true positives} + \text{true negatives}}{\text{all}} \quad (2.4)$$

Pengujian pada citra hasil ketepatan segmentasi dilakukan dengan membandingkan citra biner *ground-truth* R_m dengan citra hasil segmentasi R_s dari deteksi eksudat, Walter et al. [2] mengusulkan perhitungan *true positive*, *false negative*, dan *false positif*. Rumus perhitungan dari nilai-nilai tersebut ditunjukkan pada persamaan (2.5) hingga (2.7) berikut::

$$\text{true positive} = |R_m \cap R_s| \quad (2.5)$$

$$\text{false negative} = |R_m \setminus (R_m \cap (R_s \oplus B))| \quad (2.6)$$

$$\text{false positive} = |R_s \setminus ((R_m \oplus B) \cap R_s)| \quad (2.7)$$

dimana $\oplus B$ adalah morfologi dilasi dengan structuring element B sebesar 3×3 . Berdasarkan definisi tersebut, dilakukan perhitungan *Sensitivity* dan *Positive Predicted Value* (PPV) untuk mendapatkan nilai *F-Score* untuk mengukur kinerja pada tingkat lesi. Rumus perhitungan dari PPV dan F-Score ditunjukkan pada persamaan (2.8) hingga (2.9) berikut:

$$PPV = \frac{\text{true positive}}{\text{true positive} + \text{false positive}} \quad (2.8)$$

$$F - Score = \frac{2 \times \text{Sensitivity} \times PPV}{\text{Sensitivity} + PPV} \quad (2.9)$$

2.15. Gradient Magnitude

Gradient merupakan salah satu operator dalam kalkulus vektor yang berguna untuk mencari perubahan arah dan kecepatan di bidang skalar. Pada citra, *gradient* mewakili transisi atau perubahan warna secara bertahap. Untuk citra dua dimensi, aplikasi dilakukan dengan menggunakan *gradient* turunan spasial. *Gradient* memiliki *direction* dan *magnitude* [15].

Gradient magnitude merupakan penurunan intensitas suatu citra (i), yang ditunjukkan pada persamaan (2.10) berikut:

$$|\nabla f| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad (2.10)$$

Gradient magnitude disimbolkan dengan ∇f dihitung dengan menggunakan turunan spasial yang disimbolkan dengan $\frac{\partial f}{\partial x}$ dan $\frac{\partial f}{\partial y}$. Contoh operator yang digunakan seperti sobel [15] dalam bentuk *mask* ditunjukkan pada **Gambar 2.16**.

$$m_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad m_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Gambar 2.16 *Mask* Operator Sobel

BAB III

PERANCANGAN

Pada bab ini diuraikan mengenai perancangan aplikasi agar dapat mencapai tujuan dari tugas akhir. Perancangan yang dibuat meliputi perancangan sistem, data dan proses.

3.1. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan untuk menggambarkan proses secara keseluruhan dari aplikasi deteksi eksudat otomatis pada *diabetic retinopathy* untuk citra fundus retina. Untuk dapat menggunakan aplikasi deteksi eksudat otomatis ini, pengguna harus memiliki citra fundus retina sebagai data masukan. Data masukan diperoleh dari *Standard Diabetic Retinopathy Database Calibration level 1* (DIARETDB1). Salah satu contoh data masukan citra fundus retina dari *dataset* ditunjukkan pada **Gambar 3.1.**



(a)

Gambar 3.1 Data Masukan Citra Fundus Retina
(a) DIARETDB1

Sistem deteksi pada tugas akhir ini memiliki empat proses utama. Proses pertama adalah ekstraksi kandidat. Proses kedua adalah metode *pre-processing* citra. Proses ketiga adalah deteksi

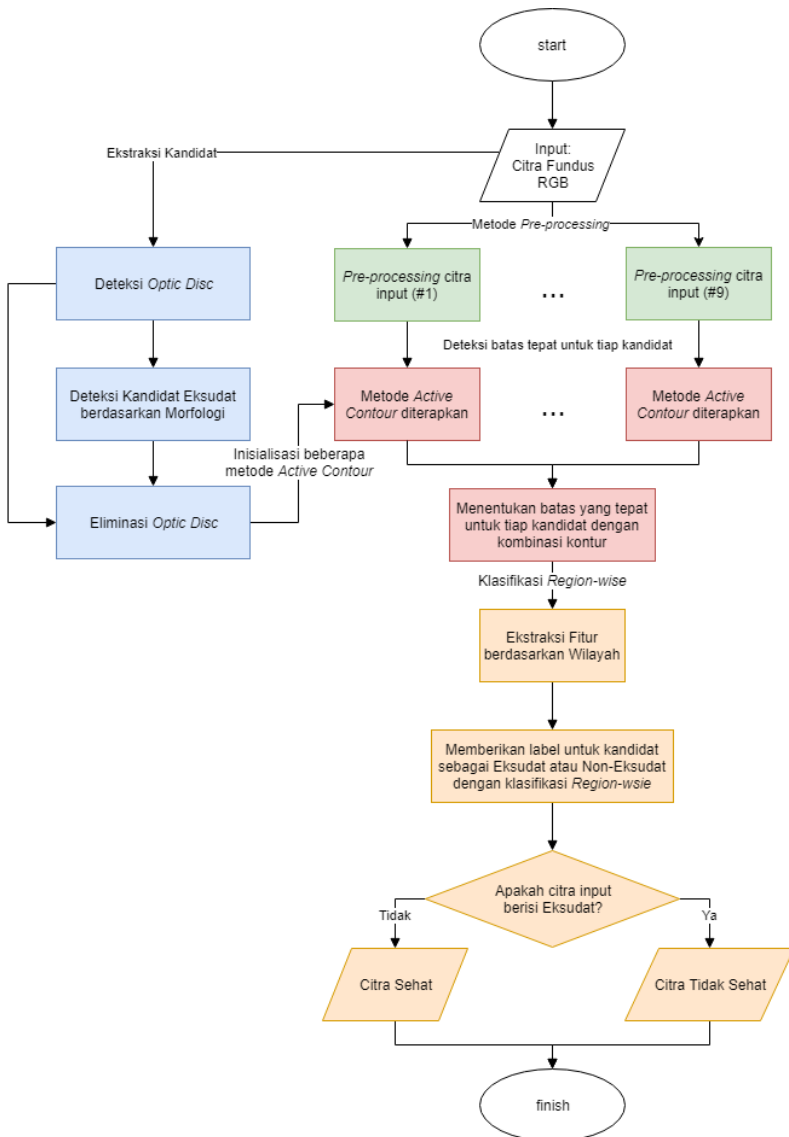
boundary yang tepat untuk tiap kandidat. Proses keempat adalah klasifikasi *region-wise*. Diagram alir dari sistem ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.

Proses ekstraksi kandidat adalah proses untuk mengambil kemungkinan daerah eksudat. Karena kemiripan yang tinggi dalam penampilan antara eksudat dan *optic disc*, daerah *optic disc* dikecualikan dari daerah kandidat. Untuk pencarian lokasi OD, diterapkan metode *ensemble-based* [17]. Motivasi utama pendekatan ini adalah mengimbangi kelemahan berbagai detektor OD dengan menggabungkan hasil mereka. Dengan cara ini, kinerja detektor OD tiap individu dapat lebih unggul. Hasil gabungan diperhatikan sebagai daerah akhir OD, yang dikecualikan dari proses deteksi eksudat lebih lanjut. Setelah penghapusan OD, hasil *boundary* kandidat eksudat yang tersisa digunakan untuk menginisialisasi *Active Contour Method* (ACM).

Proses metode *pre-processing* citra adalah proses untuk menyiapkan citra sebelum masuk ke proses deteksi *boundary* yang tepat untuk tiap kandidat. Persiapan tersebut mengubah citra menjadi sembilan varietas masukan yang memiliki intensitas dan kontras yang berbeda. Hasil dari citra-citra tersebut digunakan sebagai data masukan proses deteksi *boundary* yang tepat untuk tiap kandidat.

Proses deteksi *boundary* yang tepat untuk setiap kandidat adalah proses untuk menentukan *boundary* yang tepat, dimana citra-citra hasil *pre-processing* diproses dengan menerapkan ACM yang telah diinisialisasi sebelumnya secara terpisah. Kemudian, sembilan *boundary* yang diekstraksi digabungkan, dan dilakukan *scoring* untuk menentukan kandidat eksudat akhir.

Akhirnya proses klasifikasi dengan *region-wise* dilakukan, yaitu mengambil beberapa fitur berdasarkan daerah kandidat eksudat akhir dari masing-masing kandidat, dan memberikan label dengan menggunakan beberapa algoritma klasifikasi umum untuk tiap kandidat dianggap eksudat atau tanpa eksudat.



Gambar 3.2 Diagram Alir dari Sistem Aplikasi Deteksi Otomatis Eksudat

3.2. Perancangan Data

Perancangan data dilakukan untuk memastikan pengoperasian sistem berjalan dengan benar. Data masukan (*input*) adalah data yang diperlukan dalam pengoperasian sistem dan data keluaran (*output*) adalah data yang akan digunakan oleh pengguna.

Data masukan adalah data yang diproses oleh sistem deteksi eksudat otomatis pada *diabetic retinopathy* untuk citra fundus retina. Data yang digunakan sebagai masukan adalah citra fundus retina. Data masukan berupa citra berwarna RGB dengan ukuran 1500x1152 piksel. Contoh citra yang digunakan sebagai data masukan ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.

Data keluaran aplikasi deteksi eksudat otomatis pada *diabetic retinopathy* untuk citra fundus retina merupakan citra biner hasil deteksi berupa data masukan berisi eksudat atau tidak untuk menentukan data masukan citra sehat atau tidak sehat.

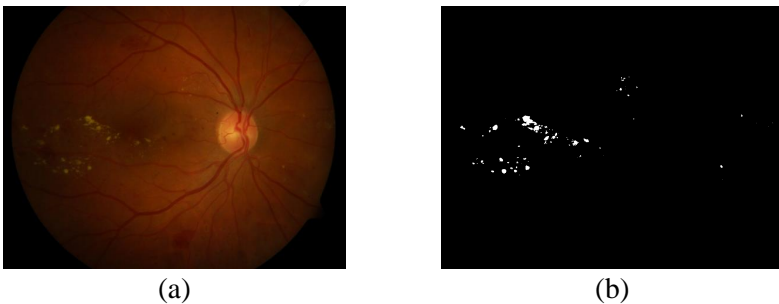
3.3. Perancangan Proses

Perancangan proses dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai setiap proses yang terdapat pada sistem deteksi eksudat otomatis pada *diabetic retinopathy* untuk citra fundus retina. Bagian dari setiap proses utama aplikasi dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.

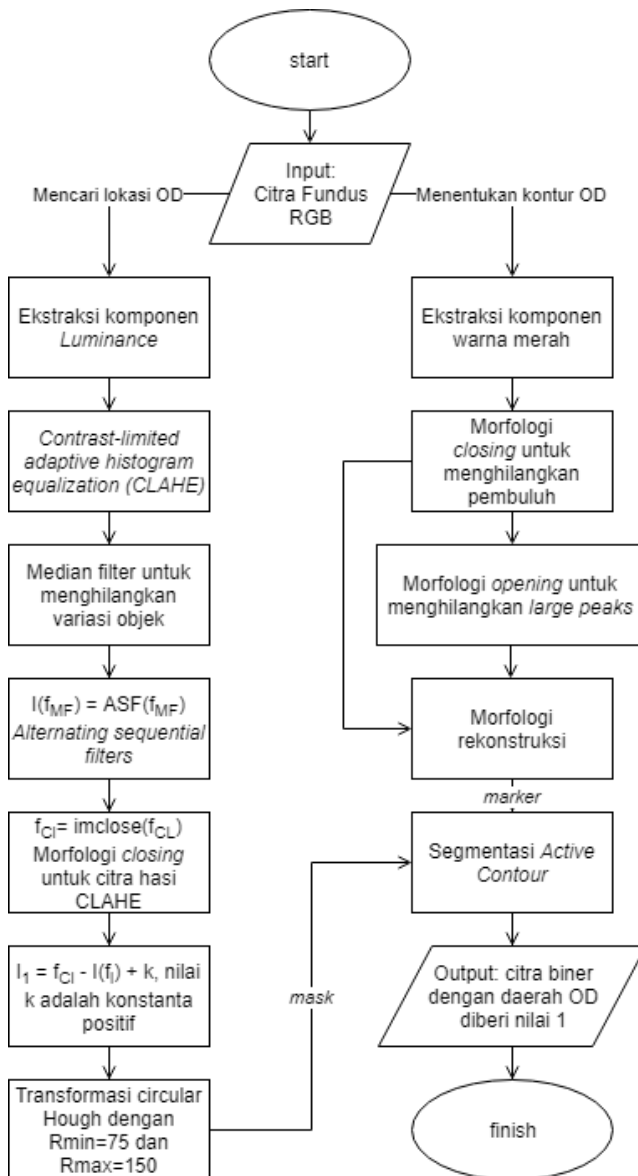
3.3.1. Ekstraksi Kandidat

Proses ekstraksi kandidat adalah sebuah teknik berbasis morfologi untuk deteksi eksudat yang diberikan oleh Walter et al. [2] dapat mengekstrak daerah kandidat untuk eksudat dengan cukup handal. Namun, metode ini bekerja secara tidak optimal pada citra retina pasien muda, untuk daerah terang yang menyebar di sepanjang *arcade temporal* (pembuluh utama / *main vessels*). Selain itu, eksudat *boundaries* yang terdeteksi kurang alami karena elemen struktur yang diterapkan dan metode ini juga mendeteksi beberapa *false positives*. Untuk alasan ini, hasil yang diperoleh [2] digunakan hanya sebagai *initial mask* untuk langkah deteksi yang lebih tepat.

Walter et al. [2] mempertimbangkan kontras secara lokal dan intensitas tinggi komponen warna hijau pada citra fundus sebagai sifat eksudat yang paling penting. Karena adanya kontras yang tinggi antara pembuluh dan *background*, metode ini menghilangkan sistem vaskular dengan *grayscale* morfologis *closing* sederhana. Pada citra tanpa pembuluh, variasi lokal dihitung pada setiap piksel di dalam jendela dan dimana daerah variasi lokal yang rendah dikecualikan. OD juga dieliminasi dari citra karena mirip dengan eksudat terkait kecerahan dan kontras. Daerah terang yang tersisa dipisah dari citra aslinya dan lubangnya diisi. Hasilnya terlihat seperti citra sehat tanpa lesi terang, jadi bila dikurangkan dari aslinya, perbedaan citra hanya berisi calon eksudat terang. Akhirnya, *thresholding* dilakukan pada kandidat yang tersisa untuk menghilangkan piksel eksudat yang salah. Algoritma ini memiliki tiga parameter: ukuran jendela ($W = 11$), *threshold* kontras ($\alpha_1 = 3$), *threshold* kecerahan ($\alpha_2 = 8$) yang ditetapkan seperti yang di usulkan oleh Walter et al. [2]. *Boundaries* dari daerah yang diekstraksi ini akan digunakan sebagai posisi awal untuk metode segmentasi kontur aktif. Citra hasil proses ekstraksi kandidat ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



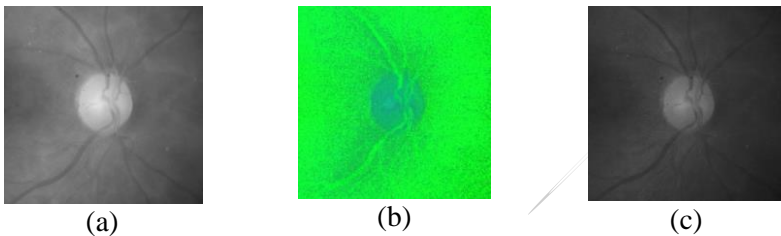
Gambar 3.3 Citra Hasil Ekstraksi Kandidat
(a) Citra RGB, (b) Citra Biner



Gambar 3.4 Diagram Alir dari Tahap Deteksi OD

3.3.1.1. Deteksi *Optic Disc*

Deteksi *optic disc* dilakukan untuk mendapatkan kontur dari *optic disc* pada citra fundus retina. Sebelumnya ekstraksi citra komponen warna merah pada ruang warna RGB dan ekstraksi citra komponen nilai *luminance* pada ruang warna HSL. Diagram alir dari proses deteksi *optic disc* ditunjukkan pada **Gambar 3.4**. Citra proses ekstraksi komponen ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



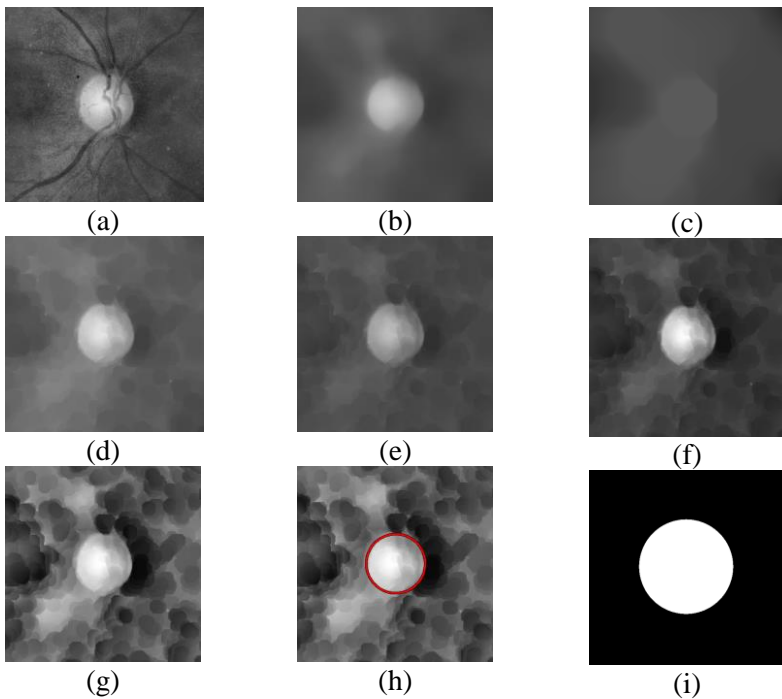
Gambar 3.5 Ekstraksi Citra Masukan

(a) Komponen Warna Merah, (b) Citra HSL, (c) Komponen Nilai *Luminance*

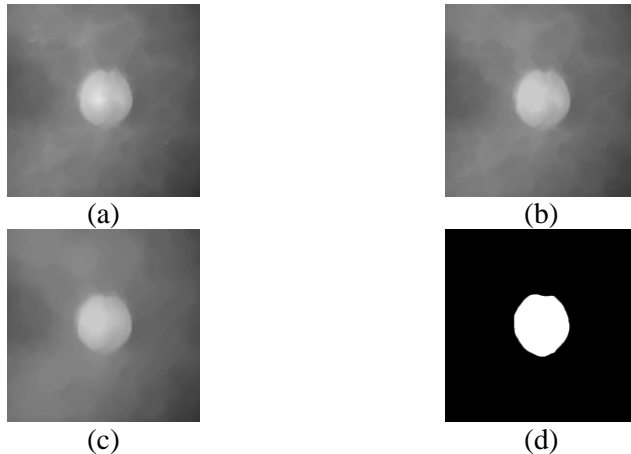
Pencarian lokasi *optic disc* dilakukan untuk menentukan kontur awal segmentasi OD. CLAHE dilakukan untuk memperbaiki kontras pada citra komponen luminance sehingga didapatkan citra dengan kontras yang lebih tinggi. Pendekatan variasi rendah dengan filter *median*. Menghitung *background* dengan *alternating sequential filters*. Menentukan nilai k untuk menerapkan operasi *shade-corrector* untuk menghilangkan *slow background variations*. Kemudian normalisasi nilai citra hasil operasi *shade-corrector* dan memperbaiki kontras menggunakan CLAHE. Mencari objek lingkaran terkuat pada hasil citra perbaikan kontras menggunakan transformasi circular Hough yang kemudian menjadi inisialisasi kontur awal untuk proses segmentasi OD. Citra proses pencarian lokasi *optic disc* ditunjukkan pada **Gambar 3.6**.

Menemukan kontur *optic disc* menggunakan metode segmentasi *active contour*. Morfologi closing dilakukan untuk menghilangkan pembuluh darah pada citra komponen warna

merah. Morfologi opening dilakukan untuk proses menghilangkan *large peaks* pada citra dan kemudian diterapkan morfologi rekonstruksi untuk hasil citra closing dengan hasil citra opening tersebut. Segmentasi *active contour* dilakukan untuk menemukan kontur *optic disc* dari daerah inialisasi awal hasil CHT untuk hasil citra rekonstruksi. Citra proses menemukan kontur *optic disc* ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3.6 Pencarian Lokasi *Optic Disc*
 (a) CLAHE, (b) Filter *Median*, (c) ASF, (d) *Closing*, (e) Operasi *Shade-correction*, (f) Normalisasi, (g) CLAHE, (h) Transformasi *circular Hough*, (i) Inialisasi Mask ACM



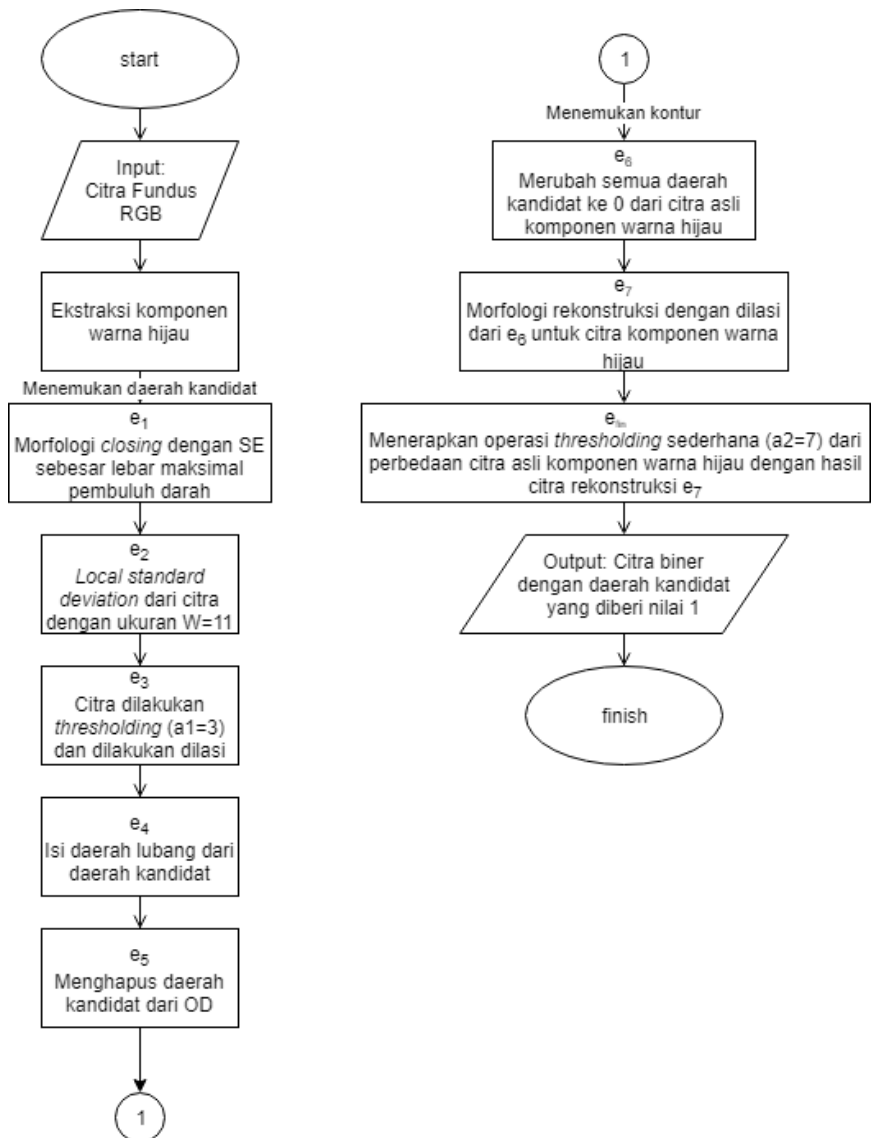
Gambar 3.7 Menemukan Kontur *Optic Disc*
 (a) *Closing*, (b) *Opening*, (c) *Morfologi Rekonstruksi*, (d) *Segmentasi ACM*

3.3.1.2. Deteksi Eksudat

Deteksi eksudat dilakukan untuk mendapatkan kandidat kontur dari eksudat pada citra fundus retina. Sebelumnya ekstraksi citra komponen warna hijau pada ruang warna RGB. Citra proses ekstraksi komponen warna hijau ditunjukkan pada **Gambar 3.8**. Diagram alir dari proses deteksi eksudat ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.



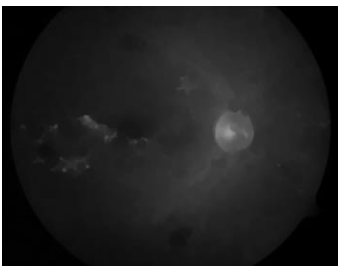
Gambar 3.8 Ekstraksi Citra Komponen Warna Hijau



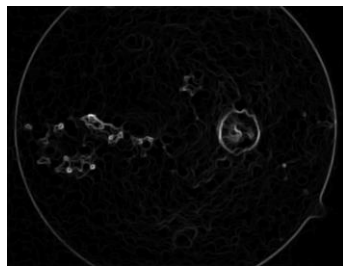
Gambar 3.9 Diagram Alir dari Tahap Deteksi Kandidat Daerah Eksudat

Menemukan daerah kandidat eksudat dilakukan untuk menentukan daerah kandidat eksudat. Menghilangkan pembuluh darah dengan morfologi *closing*. Menghitung variasi lokal untuk tiap piksel pada ukuran jendela W . *Thresholding* memisahkan antara *foreground* dan *background* dengan tingkat keabuan α_1 pada hasil citra variasi lokal. *Foreground* hasil *thresholding* berupa kandidat eskudat. Dilasi hasil citra *thresholding* untuk mendapatkan piksel *background* dekat dengan eksudat. Untuk mendapatkan daerah kandidat keseluruhan dilakukan *filling*. Menghapus hasil daerah kandidat dari *optic disc*. Menghapus versi dilasi dari hasil kontur *optic disc* yang telah didapatkan sebelumnya. Citra proses menemukan daerah kandidat eksudat ditunjukkan pada **Gambar 3.10**.

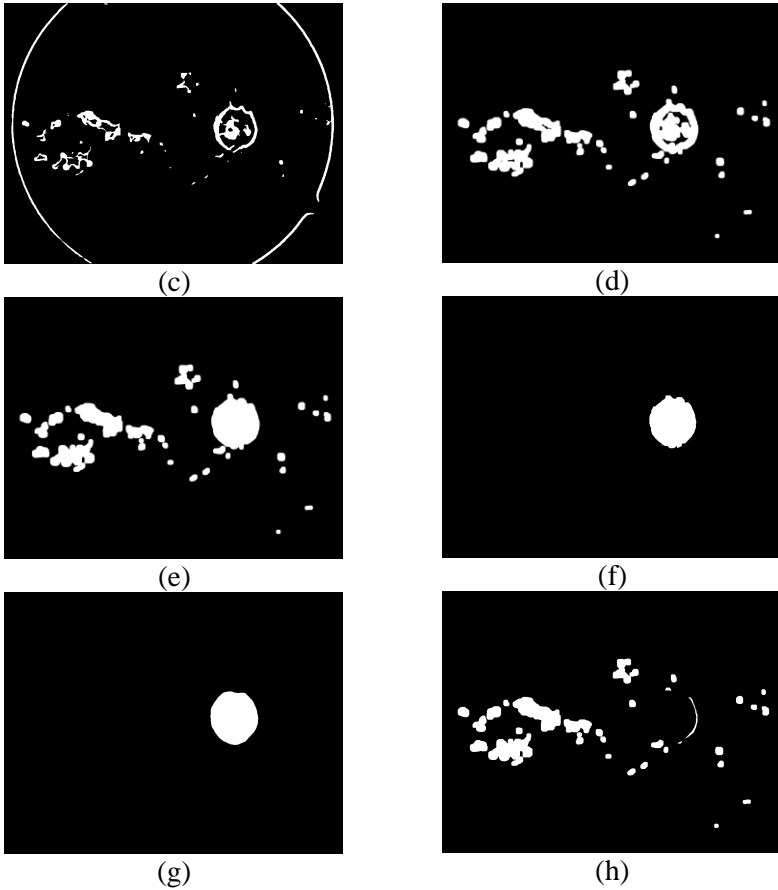
Menemukan kontur eksudat dilakukan untuk mendapatkan kontur kandidat eksudat. Mengubah nilai semua daerah kandidat ke 0, dan daerah bukan kandidat eksudat ke citra awal komponen warna hijau. Morfologi rekonstruksi dengan dilasi hasil citra untuk citra asli komponen warna hijau. Hasil akhir didapat dari operasi *threshold* sederhana dengan tingkat keabuan α_2 untuk perbedaan antara citra asli komponen warna hijau dan hasil citra rekonstruksi. Citra proses menemukan kontur eksudat ditunjukkan pada **Gambar 3.11**.



(a)

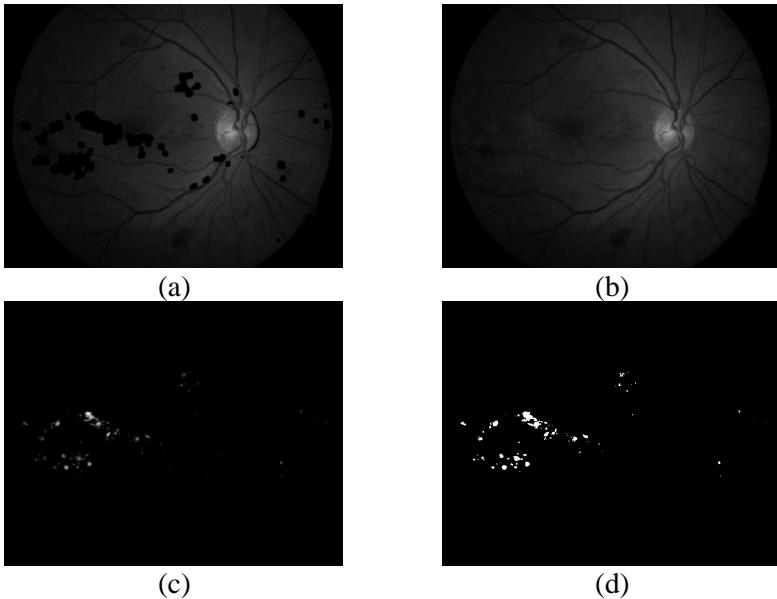


(b)



Gambar 3.10 Menemukan Daerah Kandidat Eksudat

(a) *Closing*, (b) Variasi Lokal, (c) *Thresholding*, (d) Dilasi, (e) *Filling*,
 (f) Ekstraksi *Optic Disc*, (g) Dilasi, (h) Menghapus Daerah Kandidat
 dari OD



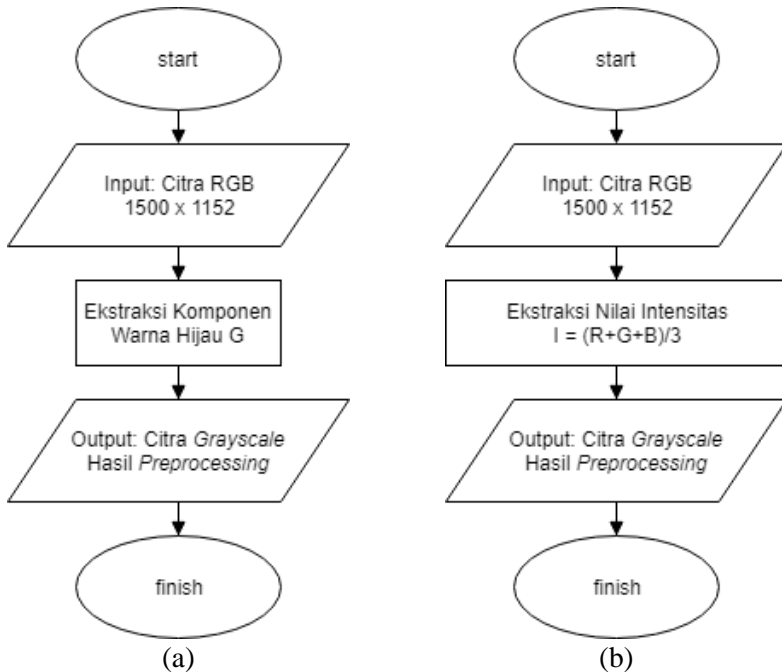
Gambar 3.11 Menemukan Kontur Eksudat

(a) Menghapus Daerah Kandidat Eksudat, (b) Morfologi Rekonstruksi, (c) Perbedaan antara Citra Asli Komponen Warna Hijau dan Hasil Citra Rekonstruksi, (d) *Thresholding*

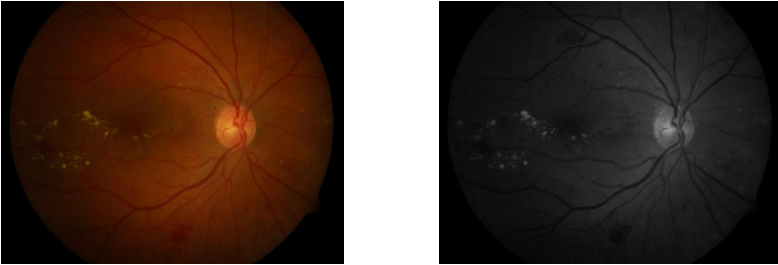
3.3.2. Metode *Pre-processing* Citra

Beberapa *paper* yang membahas pemrosesan citra fundus digital mengusulkan komponen warna hijau untuk analisis citra, karena memberikan kontras tertinggi antara bagian anatomis, lesi dan latar belakang retina. Menurut rekomendasi ini, dilakukan ekstraksi komponen warna hijau G dari citra fundus RGB. Selain itu, dilakukan ekstraksi komponen I dari ruang warna HIS, di mana I didefinisikan sebagai rata-rata saluran merah, hijau dan biru. Dengan cara ini, beberapa informasi yang relevan juga dari saluran merah dan biru dapat disimpan. Selain menggunakan citra intensitas G dan I , penulis menerapkan tujuh metode *pre-processing* yang diusulkan dalam literatur pengolahan citra fundus yang berfokus utama pada deteksi eksudat. Berikut ini, tujuh

metode yang disertakan. Citra proses *preprocessing* komponen warna hijau ditunjukkan pada **Gambar 3.13**. Citra proses *preprocessing* komponen intensitas ditunjukkan pada **Gambar 3.14**.



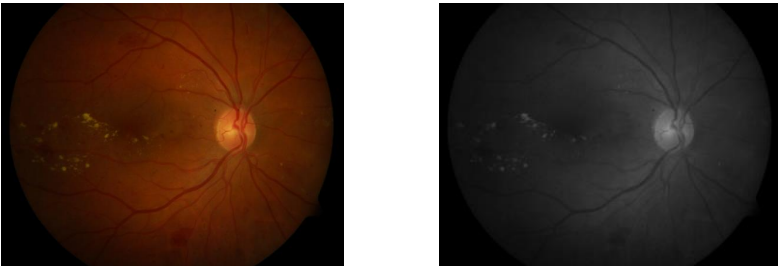
Gambar 3.12 Diagram Alir Tahap *Pre-processing*
(a) Ekstraksi Komponen Warna Hijau, (b) Ekstraksi Nilai Intensitas



(a)

(b)

Gambar 3.13 Citra Proses *Preprocessing* Komponen Warna Hijau
(a) Citra RGB, (b) Citra *Grayscale*



(a)

(b)

Gambar 3.14 Citra Proses *Preprocessing* Komponen Intensitas
(a) Citra RGB, (b) Citra *Grayscale*

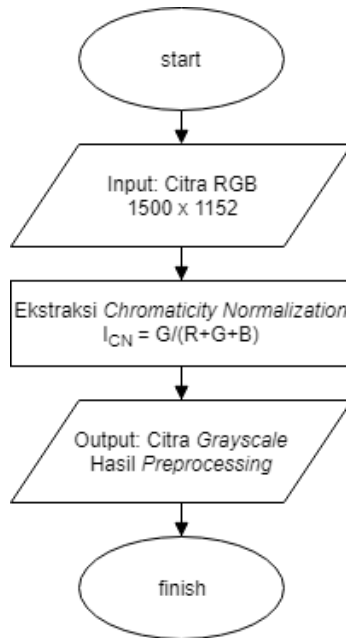
3.3.2.1. *Chromaticity Normalization*

Menormalisasi intensitas komponen warna hijau sesuai dengan porsi warna hijau di antara warna-warna [19] sebagai berikut

$$I_{CN} = \frac{G_{orig}}{R_{orig} + G_{orig} + B_{orig}} \quad (3.1)$$

dimana I_{CN} adalah intensitas yang dihasilkan, dan R_{orig} , G_{orig} , B_{orig} adalah intensitas asli dari citra dalam ruang warna RGB. Metode ini biasanya diterapkan, saat citra memiliki penerangan objek yang tidak seragam. Dalam kasus ini, cocok untuk mengurangi bayangan terang pada citra retina pasien muda. Citra

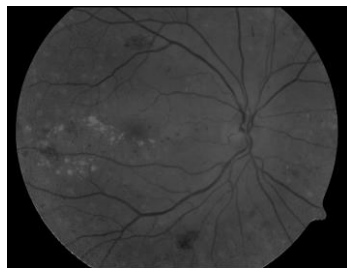
proses *preprocessing chromaticity normalization* ditunjukkan pada **Gambar 3.16**.



Gambar 3.15 Diagram Alir Tahap *Pre-processing Chromaticity Normalization*



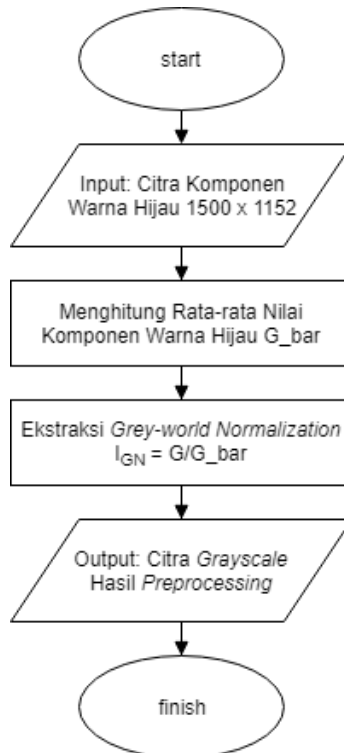
(a)



(b)

Gambar 3.16 Citra Proses *Preprocessing Chromaticity Normalization*
(a) Citra RGB, (b) Citra Grayscale

3.3.2.2. *Grey-world Normalization*

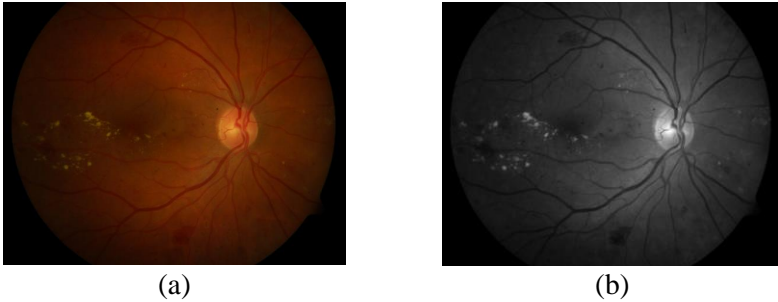


Gambar 3.17 Diagram Alir Tahap *Pre-processing Grey-world Normalization*

Grey-world normalization [21] membagi tiap komponen warna dengan intensitas rata-rata masing-masing, sehingga sangat cocok untuk menekan objek berkilau di sepanjang pembuluh darah. Karena komponen warna hijau mengandung jumlah informasi terbesar tentang lesi dan bagian anatomis, metode ini hanya mempertimbangkan normalisasi level abu-abu dari komponen warna hijau sebagai berikut

$$I_{GN} = \frac{G_{orig}}{\bar{G}} \quad (3.2)$$

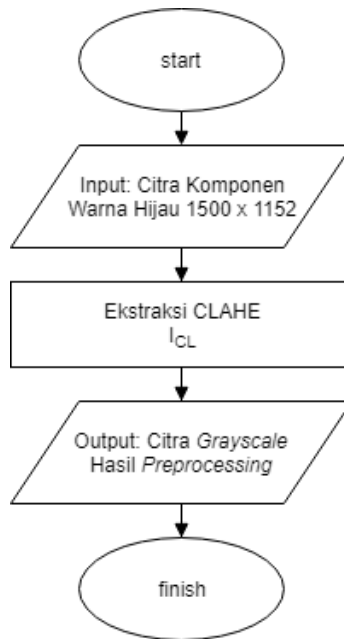
dimana G_{orig} adalah intensitas komponen warna hijau asli dari citra masukan, I_{GN} adalah intensitas komponen warna yang dihasilkan dan \bar{G} adalah intensitas rata-rata komponen warna hijau. Citra proses *preprocessing grey-world normalization* ditunjukkan pada **Gambar 3.18**.



Gambar 3.18 Citra Proses *Preprocessing Grey-world Normalization*
(a) Citra RGB, (b) Citra *Grayscale*

3.3.2.3. *Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization*

Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) [18] meningkatkan kontras citra secara lokal. Kontras yang cukup tinggi pada citra fundus sangat penting, karena selain intensitas tinggi, kontras merupakan fitur lain yang berguna dalam deteksi eksudat. Setelah menerapkan CLAHE, eksudat dapat lebih dibedakan dari latar belakang citra yang dihasilkan I_{CL} . Citra proses *preprocessing* CLAHE ditunjukkan pada **Gambar 3.20**.



Gambar 3.19 Diagram Alir Tahap *Pre-processing Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)*



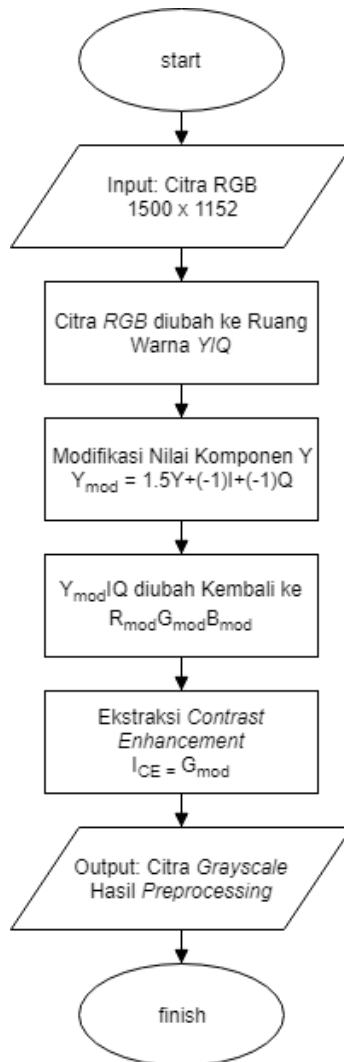
(a)



(b)

Gambar 3.20 Citra Proses *Preprocessing CLAHE*
(a) Citra RGB, (b) Citra *Grayscale*

3.3.2.4. Contrast Enhancement

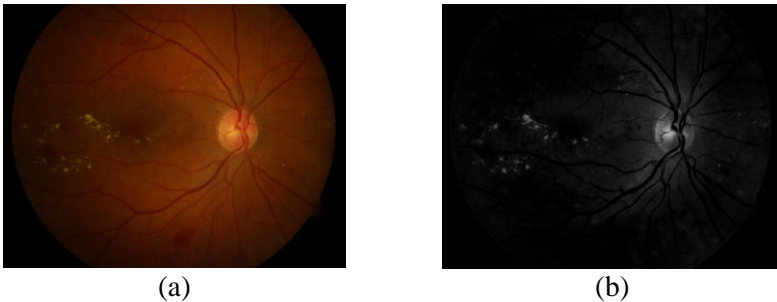


Gambar 3.21 Diagram Alir Tahap Pre-processing Contrast Enhancement

Metode peningkatan kontras yang kuat telah diusulkan sebelumnya oleh Sanchez et al. [20]. Dengan mengikuti petunjuk dari metode tersebut yaitu meningkatkan citra untuk analisis lebih lanjut, dengan mengubah citra ruang warna RGB menjadi ruang warna YIQ dan mengganti nilai intensitas saluran Y dengan jumlah bobot dari intensitas saluran Y , I dan Q sebagai berikut

$$Y_{mod} = 1.5Y + (-1)I + (-1)Q \quad (3.3)$$

Setelah modifikasi ini, $Y_{mod}IQ$ diubah kembali ke $R_{mod}G_{mod}B_{mod}$. Pada citra yang dihasilkan I_{CE} , daerah terang menjadi lebih terang, sedangkan yang gelap lebih gelap. Citra proses *preprocessing contrast enhancement* ditunjukkan pada **Gambar 3.22**.

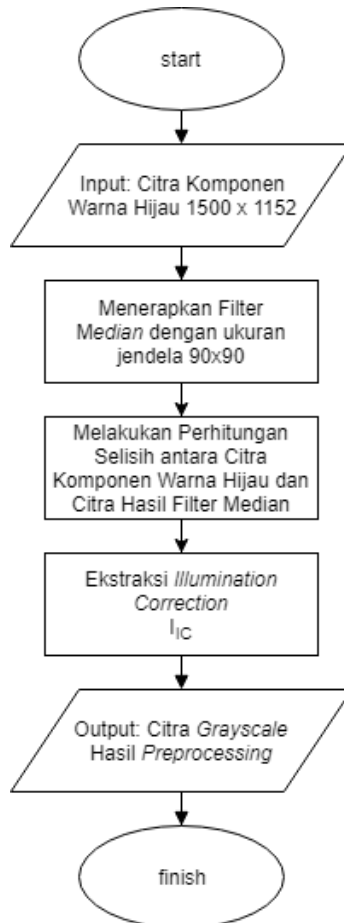


Gambar 3.22 Citra Proses *Preprocessing Contrast Enhancement*
(a) Citra RGB, (b) Citra Grayscale

3.3.2.5. *Illumination Correction*

Penerangan biasanya terjadi tidak seragam dalam citra retina karena variasi jaringan retina dan bentuk bola mata. Untuk menekan penerangan tidak seragam ini, perbaikan penerangan perlu diterapkan [22]. Untuk melakukan teknik perbaikan peningkatan citra ini, filter *median* spasial besar (90×90) diterapkan pada citra masukan. Untuk mendapatkan citra yang baik I_{IC} , citra buram dikurangkan dari yang asli. Citra proses

preprocessing illumination correction ditunjukkan pada **Gambar 3.26**.



Gambar 3.23 Diagram Alir Tahap *Pre-processing Illumination Correction*

3.3.2.6. *Illumination Equalization*

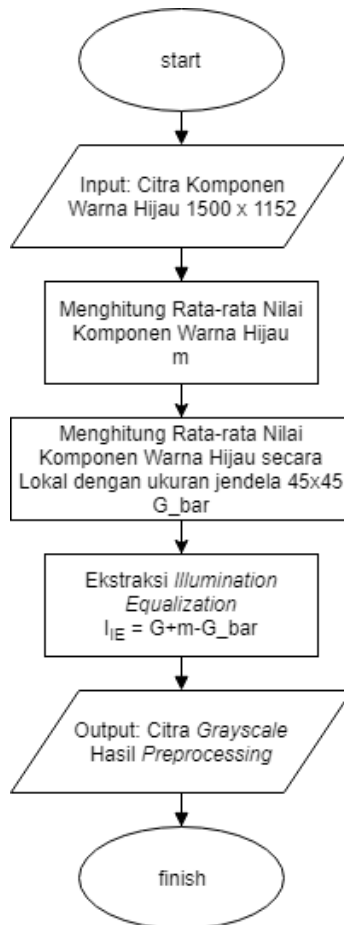
Selain perbaikan penerangan, disimulasikan penyeragaman penerangan dengan menggunakan ekualisasi penerangan [23]. Nilai intensitas yang disesuaikan diturunkan untuk setiap piksel sebagai berikut

$$I_{IE}(x, y) = G_{orig}(x, y) + m - \bar{G}_w(x, y) \quad (3.4)$$

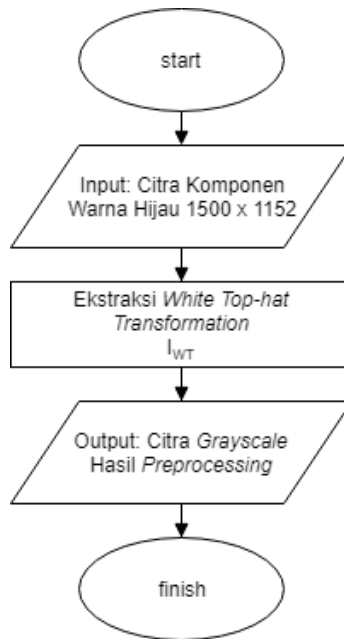
dimana $G_{orig}(x, y)$ adalah nilai intensitas komponen warna hijau asli pada posisi (x, y) , m adalah intensitas rata-rata yang diinginkan, dan $\bar{G}_w(x, y)$ adalah nilai intensitas rata-rata dalam lingkungan lokal (45×45) piksel (x, y) . Citra proses *preprocessing illumination equalization* ditunjukkan pada **Gambar 3.27**.

3.3.2.7. *White Top-hat Transformation*

Transformasi *white top-hat* [24] adalah operator morfologi yang dirancang untuk mengekstraksi daerah terang dari citra. Karena operator *opening* merupakan erosi yang diikuti oleh dilasi, daerah yang lebih gelap akan menekan yang lebih terang pada citra yang terbuka. Bila citra yang relatif gelap ini dikurangkan dari yang aslinya, puncak intensitasnya akan ditingkatkan dan eksudatnya bisa dibedakan dengan lebih baik dari latar belakang citra yang dihasilkan I_{WT} . Citra proses *preprocessing white-top transformation* ditunjukkan pada **Gambar 3.28**.



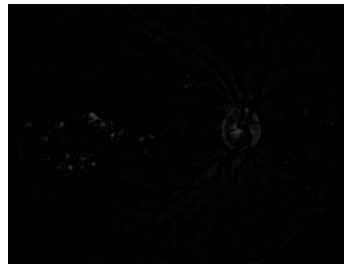
Gambar 3.24 Diagram Alir Tahap *Pre-processing Illumination Equalization*



Gambar 3.25 Diagram Alir Tahap *Pre-processing White Top-hat Transformation*

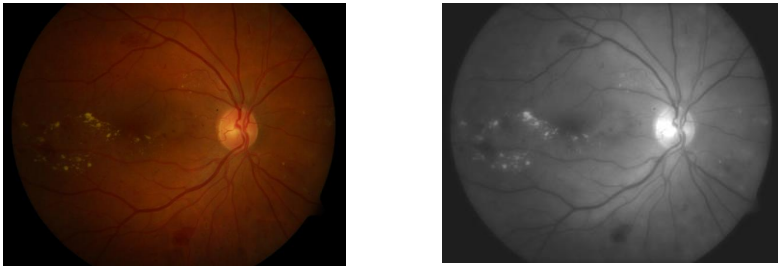


(a)



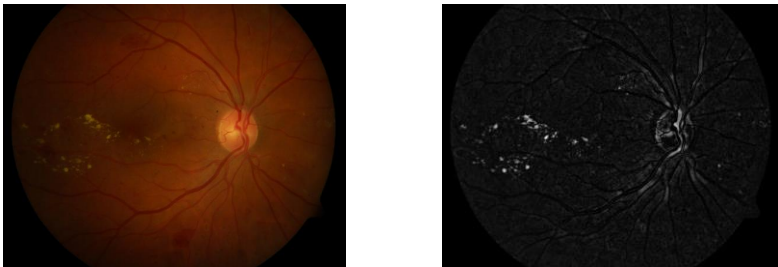
(b)

Gambar 3.26 Citra Proses *Preprocessing Illumination Correction*
(a) Citra RGB, (b) Citra Grayscale



(a) (b)

Gambar 3.27 Citra Proses *Preprocessing Illumination Equalization*
(a) Citra RGB, (b) Citra *Grayscale*

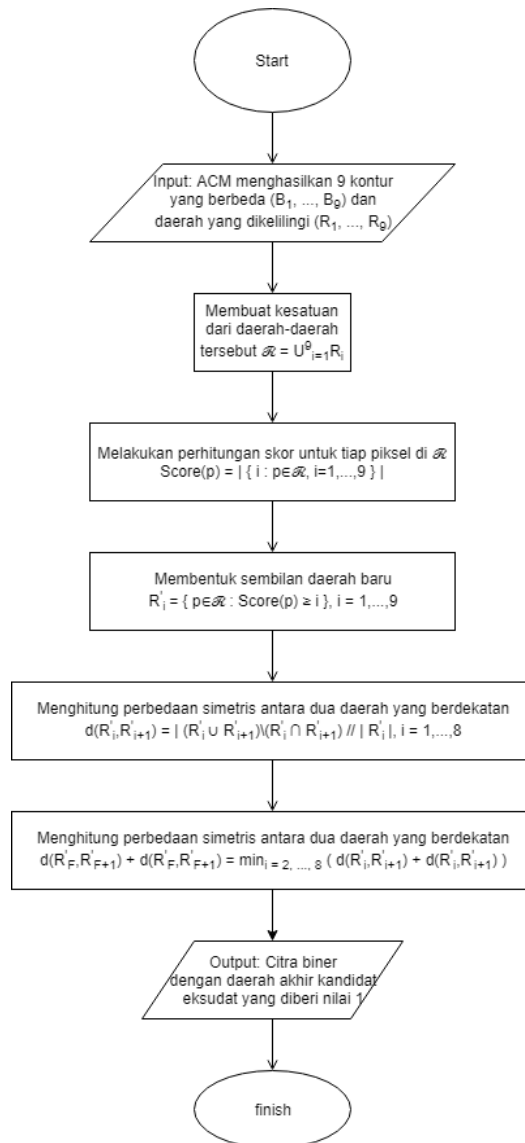


(a) (b)

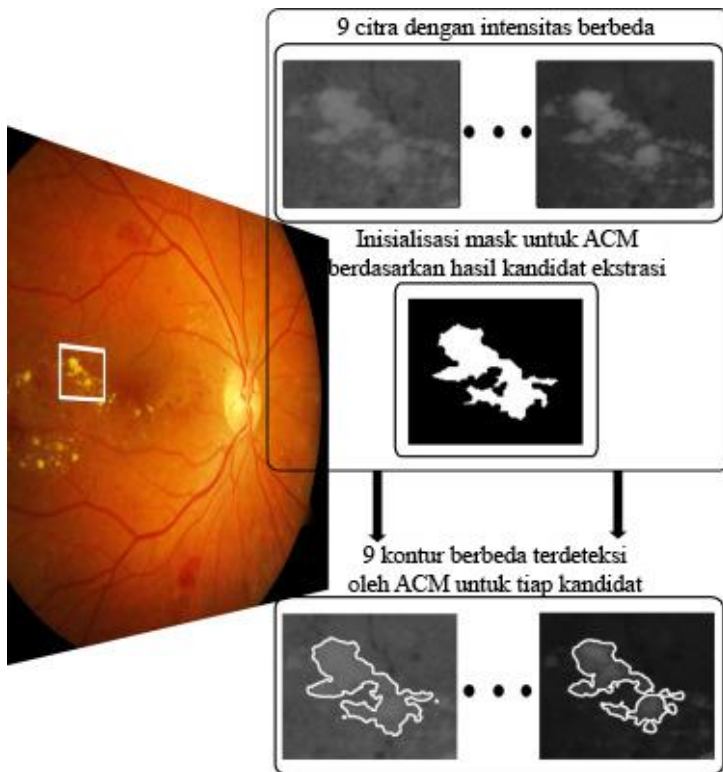
Gambar 3.28 Citra Proses *Preprocessing White Top-hat Transformation*
(a) Citra RGB, (b) Citra *Grayscale*

3.3.3. Deteksi Batasan Tepat untuk Tiap Kandidat

Tujuan dari langkah ini adalah menentukan batasan yang paling tepat untuk tiap kandidat eksudat sehingga dapat meningkatkan keakuratan klasifikasi *region-wise*. Untuk mendeteksi batasan-batasan yang tepat, diusulkan penerapan metode *active contour* yang meminimalkan fungsi energi berdasarkan sembilan varian $G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$ dari citra masukan setelah itu penggabungan sembilan kontur yang diekstraksi dilakukan.



Gambar 3.29 Diagram Alir dari Tahap Kombinasi Ekstraksi Kontur



Gambar 3.30 Kontur-kontur berbeda (B_1, \dots, B_9) untuk sembilan citra masukan *pre-processed* untuk tiap kandidat

3.3.3.1. Metode *Active Contour*

Model kontur aktif tradisional (*snake*) bukanlah alat yang tepat untuk deteksi batas eksudat, karena biasanya fungsi energi kompleks yang lebih ke gradien tinggi pada citra dan lengkungan halus kontur. Namun, kontras yang tinggi mungkin hadir dekat dengan pembuluh darah dalam citra fundus dan kelengkungan kontur eksudatnya bervariasi tidak teratur.

Dengan demikian, untuk mengatasi kesulitan ini, penggunaan *level-set framework* untuk mendeteksi batas asli kandidat eksudat

diusulkan. Kerangka ini mempertimbangkan kontur 2D dilambangkan C sebagai bagian tertanam dari permukaan 3D dan C diwakili sebagai *zero-level-set*, di mana permukaan 3D berpotongan dengan bidang citra.

Pendekatan ini memungkinkan kontur bervariasi dari piksel ke piksel dengan memodifikasi permukaan 3D dan citra dibagi menjadi daerah yang terpisah sehingga fungsi energi yang didefinisikan dapat diminimalkan. Ada dua kelemahan utama metode *level-set*. Penanganan permukaan 3D membuat mereka agak lamban dan definisi untuk kontur awal juga sulit.

Untuk mengurangi waktu komputasi, Whitaker mengajukan *Sparse Field Method* (SFM) [25]. Dalam metode tersebut, permukaan 3D diwakili oleh daftar titik $L_0, L_{-1}, L_{+1}, L_{-2}, L_{+2}, \dots$ sesuai dengan jarak titik-titik dari bidang citra interseksi, di mana L_0 berisi piksel *zero-level-set* dan L_{-1}/L_{+1} berisi piksel dalam/luar yang berdekatan. Perubahan permukaan 3D diikuti dengan memindahkan piksel dari/ke daftar yang sesuai. Untuk menginisialisasi *zero-level-set*, digunakan titik *boundary* kandidat yang telah diekstrak pada metode yang dijelaskan pada **Bagian 3.3.1**.

Dengan cara ini, ACM dapat menentukan *zero-level-set* untuk iterasi berikutnya secara otomatis dengan meminimalkan fungsi energi Chan-Vese berikut ini

$$E_{Chan-Vese} = F_1(C) + F_2(C) \quad (3.5)$$

Fungsi energi (3.5) cocok untuk deteksi batas eksudat, karena hanya bergantung pada perbedaan intensitas piksel $p_{x,y}$ dan intensitas rata-rata masing-masing *inside* (c_1) dan *outside* (c_2) kontur C seperti yang diformulasikan dengan cara berikut:

$$F_1(C) = \sum_{(x,y) \in inside(C)} |p_{x,y} - c_1|^2 \quad (3.6)$$

$$F_2(C) = \sum_{(x,y) \in \text{outside}(C)} |p_{x,y} - c_2|^2 \quad (3.7)$$

Fungsi energi (3.5) mengambil nilai minimum, ketika kedua bagian *inside* dan *outside* paling homogen berdasarkan intensitas piksel.

3.3.3.2. Kombinasi Tiap Ekstraksi Kontur

Seperti yang telah dijelaskan pada **Bagian 3.3.2**, disamping intensitas komponen warna G dan I , tujuh metode *pre-processing* citra yang berbeda dipertimbangkan untuk memperbaiki kontras dan kandungan informasi citra masukan mengenai eksudat. Setelah mengekstrak $G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$ dari citra fundus masukan, fungsi energi Chan-Vese dievaluasi pada masing-masing varian ini oleh ACM. Dengan fungsi energi, ACM diterapkan secara terpisah pada sembilan citra berbeda yang disempurnakan untuk menghasilkan sembilan kontur yang berbeda B_1, \dots, B_9 untuk setiap kandidat eksudat seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.30**. Daerah-daerah yang dibatasi oleh kontur B_1, \dots, B_9 ini dilambangkan oleh R_1, \dots, R_9 masing-masing. Diagram alir dari proses kombinasi tiap ekstraksi kontur ditunjukkan pada **Gambar 3.29**.

Langkah selanjutnya adalah mengekstrak *boundary* yang tepat untuk kandidat berdasarkan sembilan kontur/daerah ini. Deteksi batas yang tepat telah ditemukan sebagai bagian penting untuk menyediakan fitur yang sesuai untuk klasifikasi dari kandidat benar/salah. Untuk membiarkan *preprocessors* yang berbeda berpengaruh pada kontur/daerah akhir dari kandidat tertentu, informasi yang diekstraksi dengan tepat digabungkan dalam hal ini adalah menggabungkan daerah R_i ($i = 1, \dots, 9$) dengan cara sebagai berikut. Pertama, dilakukan penyatuan daerah sebagai $\mathcal{R} = \bigcup_{i=1}^9 R_i$ dan untuk setiap piksel $p \in \mathcal{R}$ ditetapkan skor yang ditunjukkan pada persamaan (3.8), dimana $|\cdot|$ mewakili kumpulan kardinalitas, yaitu jumlah untuk daerah yang terdeteksi R_i ($i = 1, \dots, 9$) berisi p . Jika p berada diluar semua daerah R_i maka mendapat skor 0, sedangkan berada di dalam semuanya,

mendapat skor 9. Proses ini menghasilkan sembilan daerah baru R'_1, \dots, R'_9 yang ditunjukkan pada persamaan (3.9), dengan R'_i terdiri dari piksel yang memiliki nilai skor lebih besar dari atau sama dengan i . Perhatikan bahwa, artinya $R'_1 \supseteq R'_2 \supseteq \dots \supseteq R'_9$, dengan $R'_1 = \mathcal{R}$. Dengan cara ini, melalui penggabungan sembilan daerah hasil ekstraksi R_i ($i = 1, \dots, 9$) dan menentukan sembilan daerah baru R'_i ($i = 1, \dots, 9$) dengan *boundary* masing-masing B'_i ($i = 1, \dots, 9$).

$$Score(p) = |\{i: p \in R_i, i = 1, \dots, 9\}| \quad (3.8)$$

$$R'_i = \{p \in \mathcal{R} : Score(p) \geq i\}, i = 1, \dots, 9 \quad (3.9)$$

Selain menggabungkan daerah R_i ($i = 1, \dots, 9$), daerah akhir juga harus mewakili keadaan yang stabil. Artinya, memilih R'_1, \dots, R'_9 sebagai daerah akhir, dimana yang paling mirip dengan tetangganya R'_{i-1} dan R'_{i+1} berdasarkan penggabungan tersebut. Sebagai kasus ekstrem dan kurang bermakna, $R'_1 = \bigcup_{i=1}^9 R'_i$ dan $R'_9 = \bigcap_{i=1}^9 R'_i$ dikecualikan dari analisis ini. Untuk perumusan yang tepat dari proses ini, dilakukan pengukuran kesamaan antara dua daerah yang berdekatan dengan menghitung perbedaan simetrisnya yang ditunjukkan pada persamaan (3.10).

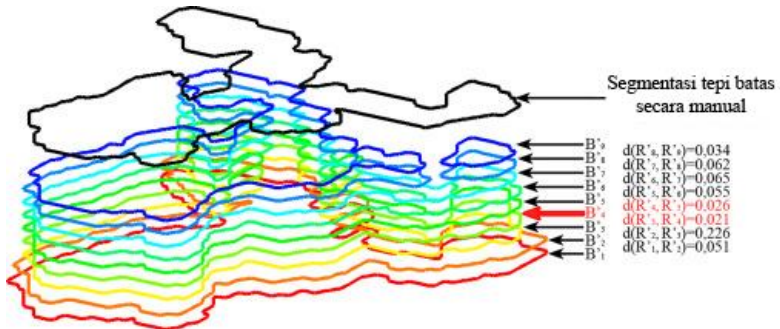
$$d(R'_i, R'_{i+1}) = \frac{|(R'_i \cup R'_{i+1}) \setminus (R'_i \cap R'_{i+1})|}{|R'_i|}, i = 1, \dots, 8, \quad (3.10)$$

dimana \setminus menunjukkan operator selisih yang ditetapkan. Penyebut $|R'_i|$ dalam (3.10) diterapkan untuk skala-invarian. Daerah kandidat R'_F dengan $F \in \{2, \dots, 8\}$ harus dipilih sebagai daerah eksudat akhir yang ditentukan oleh persamaan (3.11).

$$d(R'_F, R'_{F+1}) + d(R'_F, R'_{F+1}) = \min_{i=2, \dots, 8} (d(R'_{i-1}, R'_i) + d(R'_i, R'_{i+1})) \quad (3.11)$$

Prosedur ini dilakukan untuk masing-masing kandidat secara terpisah untuk memiliki kumpulan kandidat dengan kontur yang

dideteksi tepat. Tentu, beberapa kandidat bukanlah eksudat sebenarnya, namun dengan menentukan batas tepat yang terbaik untuk masing-masing kandidat secara individual untuk meningkatkan keakuratan klasifikasi *region-wise*. Contoh untuk prosedur ini juga ditunjukkan pada **Gambar 3.31** dimana persamaan yang diukur juga disertakan.



Gambar 3.31 *Boundary* B'_i dari kombinasi daerah $R'_i (i = 1, \dots, 9)$ dan Tepi batas hasil segmentasi eksudat manual. Tanda merah menunjukan daerah terpilih mempunyai nilai jarak terkecil dari tetangganya

3.3.4. Klasifikasi Region-wise

Untuk klasifikasi *region-wise* ini, dilakukan ekstraksi deskriptor dari masing-masing kandidat eksudat yang ditemukan oleh metode ekstraktor kandidat [2]. Deskriptor ini didasarkan pada nilai intensitas masing-masing piksel yang menyusun kandidat yang terdeteksi dengan tepat dan dihitung dari perilaku morfologis (bentuk) dari daerah (*region*) yang dideteksi secara tepat dan tepi batasnya (*boundary*). Dengan cara ini, untuk inisialisasi klasifikasi kandidat yaitu mempertimbangkan 106 deskriptor *region-wise* yang tercantum dalam **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Deskriptor *Region-wise* untuk klasifikasi kandidat eksudat

	Fitur <i>region-based</i>	Fitur <i>boundary-based</i>
Berdasarkan intensitas citra $G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$ (9 x 10 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata - <i>standard deviation</i> - nilai terendah - nilai terbesar - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata - <i>standard deviation</i> - nilai terendah - nilai terbesar - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar)
Berdasarkan <i>gradient magnitude</i> citra komponen warna hijau (10 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - <i>rata-rata</i> - <i>standard deviation</i> - nilai terendah - nilai terbesar - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>rata-rata</i> - <i>standard deviation</i> - nilai terendah - nilai terbesar - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar)
Deskriptor secara Morfologi (bentuk) (6 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - <i>compactness</i> - area - jumlah lubang - <i>elongatedness</i> - <i>eccentricity</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>perimeter</i>

Pada **Tabel 3.1**, dicantumkan semua deskriptor yang diekstraksi dari daerah kandidat tanpa menghiraukan kinerja klasifikasi mereka, sehingga berisi deskriptor yang kurang efisien. Untuk uji coba ini, digunakan beberapa algoritma *classifier* milik Matlab R2017a yang umum digunakan (Naïve – Bayes, *k-Nearest Neighbors*) [26].

3.3.4.1. Seleksi Fitur

Untuk memilih fitur yang bermakna guna klasifikasi, dilakukan perhitungan peringkat kepentingan fitur terhadap kinerja berdasarkan kriteria pemisahan kelas dengan beberapa metode statistika non-parametrik seperti:

- a. *Two-sample t-test*
Nilai absolut dua sampel t-test dengan estimasi varians dikumpulkan.
- b. *Relative entropy*
Relatif entropi, juga dikenal sebagai jarak atau divergensi Kullback-Leibler.
- c. *Minimum attainable classification error* (Bhattacharyya)
Kesalahan klasifikasi yang dapat dicapai minimum atau Chernoff terikat.
- d. Analisis ROC
Area antara kurva empiris *Receiver Operating Characteristic* (ROC) dan garis pengklasifikasi acak.
- e. Uji Wilcoxon
Nilai absolut dari statistik-u standar dari dua-sampel uji Wilcoxon yang tidak berpasangan (Mann-Whitney).

BAB IV IMPLEMENTASI

Pada bab ini diuraikan mengenai implementasi sistem dari rancangan metode yang telah dibahas pada Bab III meliputi algoritma dan kode program dalam sistem. Selain itu, implementasi dari tiap proses, parameter masukan, keluaran dan beberapa keterangan yang berhubungan dengan program dan teori juga dijelaskan.

4.1. Lingkungan Implementasi

Objek citra yang akan diolah pada implementasi tugas akhir ini adalah sebuah citra fundus retina. Objek citra adalah gambar tipe *Portable Network Graphics* (PNG) dan *Joint Photographic Experts Group* (JPEG).

Dalam implementasi algoritma pengolahan citra tersebut, digunakan perangkat pendukung sebagai berikut:

4.1.1. Perangkat Keras

Pada **Tabel 4.1** menjelaskan lingkungan perangkat keras yang digunakan dalam proses pengembangan sistem.

Tabel 4.1 Lingkungan Implementasi Perangkat Keras

<i>Type</i>	<i>Personal Computer</i>
<i>System Manufacturer</i>	LENOVO
<i>System Model</i>	10HVA00LIA
<i>Processor</i>	Intel® Core™ i5-4460S CPU @ 2.90GHz (4 CPUs), ~2.9GHz
<i>Memory</i>	8192MB RAM

4.1.2. Perangkat Lunak

Pada **Tabel 4.2** menjelaskan implementasi perangkat lunak yang digunakan dalam proses pengembangan dan implementasi sistem ini.

Tabel 4.2 Lingkungan Implementasi Perangkat Lunak

Nama Aplikasi	Kegunaan
Microsoft Windows 10	Sebagai sistem operasi pada perangkat keras pengembangan aplikasi
MATLAB R2017a	Sebagai IDE untuk implementasi aplikasi yang didukung dengan dua <i>toolbox</i> utama yaitu <i>statistical and machine learning toolbox</i> dan <i>image processing toolbox</i> .
Adobe Photoshop CC 2017	Sebagai alat dukung untuk pembuatan <i>ground truth</i> dari citra.
Microsoft Excel	Sebagai alat dukung untuk pengolahan angka.
WEKA 3.8	Sebagai alat dukung untuk membandingkan hasil dari sistem.

4.2. Implementasi Ekstraksi Kandidat

Tahap ekstraksi kandidat pada tugas akhir ini terdiri dari dua tahap yaitu melakukan deteksi *optic disc* (OD), dan deteksi eksudat pada citra masukan.

Penjelasan dari masing-masing tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

4.2.1. Implementasi Deteksi *Optic Disc* (OD)

Tahap deteksi *optic disc* (OD) digunakan untuk mendapatkan kontur daerah OD. Tahap ini diawali dengan dilakukannya pengambilan komponen warna citra masukan, selanjutnya dilakukan pencarian lokasi OD, dan terakhir menemukan kontur OD.

Implementasi pengambilan komponen citra masukan ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.1**. Pada tahap pengambilan komponen warna, citra masukan diambil komponen warna merah pada ruang warna RGB pada baris 1. Pada baris 2 dan 3 implementasi pengambilan komponen nilai *luminance* pada ruang warna HSL.

1	<code>redImg = inputImg(:,:,1);</code>
2	<code>hslImg = rgb2hsl(inputImg);</code>
3	<code>luminanceImg = hslImg(:,:,3);</code>

Kode Sumber 4.1 Implementasi Pengambilan Komponen Citra Masukan

Implementasi pencarian lokasi OD ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.2**. Pada baris 1 implementasi perbaikan citra dengan CLAHE diterapkan pada citra komponen nilai *luminance*. Pada baris 2 implementasi filter *median* dengan ukuran window besar dilakukan pada citra hasil proses CLAHE. Pada baris 3 hingga 9 dilakukan perhitungan *alternating sequential filters* dari hasil citra sebelumnya dengan melakukan morfologi *opening* dan *closing* untuk menghilangkan OD. Pada baris 10 hingga 11 implementasi penentuan nilai *k* yaitu konstanta positif. Pada baris 12 hingga 13 implementasi menghilangkan pembuluh darah pada citra hasil proses CLAHE dengan morfologi *closing*. Pada baris 14 hingga 16 implementasi penerapan *shade-correction operator* pada citra hasil *closing* gunanya untuk menghilangkan variasi *slow background*, dan dilanjutkan dengan perbaikan citra menggunakan CLAHE pada hasil normalisasinya. Pada baris 17 hingga 20 implementasi *circular Hough transform* (CHT) dengan parameter minimum dan maksimum radius yang telah didefinisikan untuk objek yang berbentuk menyerupai lingkaran. Pada baris 21 hingga 28 implementasi pengambilan lokasi lebih besar dari OD dilakukan dengan mengambil parameter-parameter lingkaran paling kuat dari hasil CHT hasilnya citra biner dengan nilai 1 untuk lokasi OD.

Implementasi menemukan kontur OD ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.3**. Pada baris 1 hingga 2 implementasi menghilangkan pembuluh darah menggunakan morfologi *closing* sederhana pada citra komponen warna merah. Pada baris 3 hingga 5 implementasi *opening* menggunakan *structuring element* berbentuk *disk* dengan ukuran besar, selanjutnya mengubah bentuk daerah papiler secara signifikan menggunakan morfologi rekonstruksi untuk menghilangkan *large peaks*. Pada baris 6 hingga 9 implementasi segmentasi untuk menemukan kontur OD dari hasil citra

rekonstruksi dengan inisialisasi *mask* yang didapatkan sebelumnya.

1	claheImg = adapthisteq(luminanceImg);
2	medianImg = medfilt2(claheImg, [90 90]);
3	num_iteration = 100;
4	asfImg = medianImg;
5	for i = 1:num_iteration
6	se = strel('disk', i);
7	asfImg = imopen(asfImg, se);
8	asfImg = imclose(asfImg, se);
9	end
10	uniqasf = unique(asfImg);
11	k = median(uniqasf);
12	se = strel('disk', 20);
13	closeImg = imclose(claheImg, se);
14	l1 = closeImg - asfImg + k;
15	l1 = mat2gray(l1);
16	l1 = adapthisteq(l1);
17	Rmin = 75;
18	Rmax = 150;
19	[centers, radii] = imfindcircles(l1, [Rmin Rmax], ...
20	'ObjectPolarity', 'bright', 'Sensitivity', 0.98);
21	circleCenterX = centers(1,1);
22	circleCenterY = centers(1,2);
23	circleRadius = 1.5*radii(1);
24	rows = size(inputImg,1);
25	columns = size(inputImg,2);
26	circleImage = false(rows, columns);
27	[x, y] = meshgrid(1:columns, 1:rows);
28	circleImage((x - circleCenterX).^2 + (y - circleCenterY).^2 <= circleRadius.^2) = true;

Kode Sumber 4.2 Implementasi Pencarian Lokasi OD

1	<code>se = strel('octagon', 18);</code>
2	<code>p1 = imclose(redImg, se);</code>
3	<code>se = strel('octagon', 36);</code>
4	<code>openImg = imopen(p1, se);</code>
5	<code>p2 = imreconstruct(openImg, p1);</code>
6	<code>marker = p2;</code>
7	<code>mask = circleImg;</code>
8	<code>odImg = activecontour(marker, mask, 'Chan-vese', ...</code>
9	<code>'SmoothFactor', 0.95, 'ContractionBias', 0.25);</code>

Kode Sumber 4.3 Implementasi Menemukan Kontur OD

4.2.2. Implementasi Deteksi Eksudat

Tahap deteksi eksudat digunakan untuk mendapatkan lokasi daerah eksudat. Tahap ini diawali dengan menemukan daerah kandidat, selanjutnya menemukan kontur eksudat untuk citra komponen warna hijau pada citra masukan. Hal ini karena eksudat tampil lebih terang pada citra komponen warna hijau.

Implementasi menemukan daerah kandidat pada citra komponen warna hijau ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.4**. Pada baris 1 implementasi pengambilan citra komponen warna hijau dari citra masukan. Pada baris 2 hingga 3 implementasi *closing* sederhana dengan *structuring element* berbentuk *disk* dengan ukuran sebesar maksimal lebar pembuluh darah untuk menghilangkan pembuluh darah pada citra. Pada baris 4 hingga 5 implementasi perhitungan variasi lokal untuk tiap piksel pada window sebesar 11. Pada baris 6 hingga 7 implementasi *thresholding* dengan mengubah hasil citra variasi lokal menjadi biner dengan nilai α_1 . Pada baris 8 hingga 9 implementasi mendapatkan *mask* yang dilakukan erosi untuk menghapus tepi batas retina. Pada baris 10 implementasi dilasi menggunakan *structuring element* berbentuk *disk* dengan ukuran sebesar 10 pada citra hasil penghapusan tepi batas retina. Pada baris 11 implementasi *filling* dilakukan dengan mengisi lubang *region* dari citra hasil dilasi sehingga terlihat dalam satu kesatuan yang menghasilkan daerah kandidat. Pada 12 hingga 15 implementasi menghilangkan OD dari hasil daerah kandidat, sebelumnya hasil

segmentasi OD dilakukan dilasi kemudian mengambil daerah hasil citra *filling* untuk kontur OD.

1	<code>greenImg = inputImg(:,:,2);</code>
2	<code>se = strel('disk', 18);</code>
3	<code>e1 = imclose(greenImg, se);</code>
4	<code>W = logical(ones(11,11));</code>
5	<code>e2 = stdfilt(e1, W);</code>
6	<code>alpha1 = 3/255;</code>
7	<code>thresholdingImg = im2bw(e2, alpha1);</code>
8	<code>se = strel('disk', 10);</code>
9	<code>fmaskImg = imerode(fmaskImg, se);</code>
10	<code>e3 = imdilate(fmaskImg.*thresholdingImg, se);</code>
11	<code>e4 = imfill(e3,'holes');</code>
12	<code>dilateImg = imdilate(odImg, se);</code>
13	<code>removeod = and(e4,dilateImg);</code>
14	<code>e5 = logical(e4 - removeod);</code>

Kode Sumber 4.4 Menemukan Daerah Kandidat

1	<code>for i=1:size(inputImg,1)</code>
2	<code> for j=1:size(inputImg,2)</code>
3	<code> if(e5(i,j)~=0)</code>
4	<code> e6(i,j) = 0;</code>
5	<code> else</code>
6	<code> e6(i,j) = greenImg(i,j);</code>
7	<code> end</code>
8	<code> end</code>
9	<code>end</code>
10	<code>e7 = imreconstruct(e6,greenImg);</code>
11	<code>differenceImg = greenImg - e7;</code>
12	<code>alpha2 = 8/255;</code>
13	<code>efin = im2bw(differenceImg, alpha2);</code>

Kode Sumber 4.5 Implementasi Menemukan Kontur Eksudat

Implementasi menemukan kontur eksudat ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.5**. Pada baris 1 hingga 9 implementasi merubah nilai semua daerah kandidat ke 0 dalam citra komponen warna

hijau. Pada baris 10 implementasi komputasi morfologi rekonstruksi dengan dilasi dari hasil citra penghapusan daerah kandidat untuk citra komponen warna hijau. Pada baris 11 hingga 13 implementasi hasil akhir untuk kontur eksudat yang didapat operasi *threshold* sederhana sebesar nilai α_2 pada perbedaan citra komponen warna hijau dan hasil citra morfologi rekonstruksi.

4.3. Implementasi Metode *Pre-processing* Citra

Tahap metode *pre-processing* citra pada tugas akhir ini terdiri dari sembilan metode yaitu ekstraksi komponen warna hijau dari citra fundus RGB, intensitas pada citra ruang warna HSI, *chromaticity normalization*, *contrast enhancement*, *contrast-limited adaptive histogram equalization*, *grey-world normalization*, *illumination correction*, *illumination equalization*, dan *white top-hat transformation*.

Penjelasan dari masing-masing metode ekstraksi tersebut adalah sebagai berikut:

4.3.1. Implementasi Ekstraksi Komponen Warna Hijau

Tahap ekstraksi komponen warna hijau digunakan untuk mendapatkan citra yang berisi nilai komponen warna hijau. Tahap ini dilakukan dengan mengambil nilai-nilai dimensi kedua pada citra RGB.

Implementasi ekstraksi komponen warna hijau ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.6**. Pada baris 1 implementasi pengambilan nilai-nilai dimensi kedua pada citra RGB masukan.

1	G = inputImg(:, :, 2);
---	------------------------

Kode Sumber 4.6 Implementasi Ekstraksi Komponen Warna Hijau

4.3.2. Implementasi Ekstraksi Intensitas

Tahap ekstraksi intensitas digunakan untuk mendapatkan citra yang berisi nilai rata-rata dari komponen tiap warna pada citra RGB. Tahap ini dilakukan dengan menjumlahkan nilai-nilai tiap

dimensi pada citra RGB dan membagi sesuai jumlah dimensi warna.

Implementasi ekstraksi intensitas ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.7**. Pada baris 1 implementasi perhitungan rata-rata nilai pada citra RGB masukan.

1	I = sum(inputImg,3)./3;
---	-------------------------

Kode Sumber 4.7 Implementasi Ekstraksi Intensitas

4.3.3. Implementasi *Chromaticity Normalization*

Tahap *chromaticity normalization* digunakan untuk menormalisasi intensitas komponen warna hijau berdasarkan porsi komponen warna hijau diantara warna-warna. Tahap ini dilakukan membagi nilai komponen warna hijau terhadap jumlah nilai komponen tiap warna.

Implementasi *chromaticity normalization* ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.8**. Pada baris 1 hingga 8 implementasi perhitungan normalisasi intensitas untuk pembagi dengan jumlah tidak sama dengan nol.

1	chromaticitynormalization=double(zeros(size(im(:, :, 2))));
2	for i=1:size(im,1)
3	for j=1:size(im,2)
4	if fmaskImg(i,j) == 1 && (im(i,j,1)+im(i,j,2)+im(i,j,3)) ~= 0
5	chromaticitynormalization(i,j)=im(i,j,2)/(im(i,j,1)+im(i,j,2)+im(i,j,3));
6	end
7	end
8	end

Kode Sumber 4.8 Implementasi *Chromaticity Normalization*

4.3.4. Implementasi *Grey-world Normalization*

Tahap *grey-world normalization* digunakan untuk menekan daerah terang sepanjang *arcade* pembuluh darah retina *temporal*. Tahap ini dilakukan dengan membagi nilai intensitas komponen warna hijau citra masukan dengan rata-ratanya keseluruhan.

Implementasi *grey-world normalization* ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.9**. Pada baris 1 implementasi perhitungan rata-rata untuk semua nilai komponen warna hijau pada *mask*. Pada baris 2 implementasi normalisasi tingkat keabu-abuan komponen warna hijau.

1	G_bar = mean(G(fmaskImg));
2	greyworldnormalization = G/G_bar;

Kode Sumber 4.9 Implementasi Grey-world Normalization

4.3.5. Implementasi CLAHE

Tahap *contrast-limited adaptive histogram equalization* (CLAHE) digunakan untuk meningkatkan kontras citra secara lokal.

Implementasi CLAHE ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.10**. Pada baris 1 implementasi meningkatkan kontras secara lokal untuk nilai komponen warna hijau.

1	clahe = adapthisteq(G);
---	-------------------------

Kode Sumber 4.10 Implementasi CLAHE

4.3.6. Implementasi Contrast Enhancement

Tahap *contrast enhancement* digunakan untuk mendapatkan citra baru dimana daerah terang menjadi lebih terang, sementara yang gelap menjadi lebih gelap. Tahap ini dilakukan dengan memodifikasi nilai pada ruang warna YIQ.

Implementasi *contrast enhancement* ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.11**. Pada baris 1 hingga 8 implementasi mengkonversi citra RGB ke dalam ruang warna YIQ. Pada baris 9 hingga 10 implementasi modifikasi nilai komponen Y dengan perhitungan yang mempertimbangkan dari nilai-nilai Y, I, dan Q. Pada baris 11 hingga 18 implementasi mengubah YIQ hasil modifikasi ke ruang warna RGB modifikasi. Pada baris 19 implementasi pengambilan komponen warna hijau hasil modifikasi.

1	YIQ=double(zeros(size(im)));
2	for i=1:size(im,1)
3	for j=1:size(im,2)
4	YIQ(i,j,1)=0.2989*im(i,j,1)+0.5870*im(i,j,2)+0.1140*im(i,j,3);
5	YIQ(i,j,2)=0.596*im(i,j,1)-0.274*im(i,j,2)-0.322*im(i,j,3);
6	YIQ(i,j,3)=0.211*im(i,j,1)-0.523*im(i,j,2)+0.312*im(i,j,3);
7	end
8	end
9	YIQmod=1.5*YIQ(:,:,1)+(-1)*YIQ(:,:,2)+(-1)*YIQ(:,:,3);
10	YIQ(:,:,1)=YIQmod;
11	RGBmod=double(zeros(size(YIQ)));
12	for i=1:size(YIQ,1)
13	for j=1:size(YIQ,2)
14	RGBmod(i,j,1)=1*YIQ(i,j,1)+0.956*YIQ(i,j,2)+ 0.621*YIQ(i,j,3);
15	RGBmod(i,j,2)=1*YIQ(i,j,1)-0.272*YIQ(i,j,2)- 0.647*YIQ(i,j,3);
16	RGBmod(i,j,3)=1*YIQ(i,j,1)-1.106*YIQ(i,j,2)+ 1.703*YIQ(i,j,3);
17	end
18	end
19	contrastenhancement = RGBmod(:,:,2);

Kode Sumber 4.11 Implementasi *Contrast Enhancement*

4.3.7. Implementasi *Illumination Correction*

Tahap *illumination correction* digunakan untuk menekan pencahayaan yang tidak seragam. Tahap ini dilakukan dengan melakukan menghitung selisih nilai citra buram dan citra masukan.

Implementasi *illumination correction* ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.12**. Pada baris 1 implementasi penerapan filter *median* pada citra komponen warna hijau untuk menghasilkan citra buram. Pada baris 2 implementasi perhitungan untuk mendapatkan perbedaan nilai dengan menghitung selisih nilai citra buram dari citra masukan.

1	<code>blurred_image = medfilt2(G, [90 90]);</code>
2	<code>illuminationcorrection = imsubtract(G, blurred_image);</code>

Kode Sumber 4.12 Implementasi *Illumination Correction*

4.3.8. Implementasi *Illumination Equalization*

Tahap *illumination equalization* digunakan untuk mensimulasikan pencahayaan seragam. Tahap ini dilakukan dengan melakukan perhitungan untuk penjumlahan nilai komponen warna hijau dan nilai rata-rata intensitas keseluruhan lalu hasilnya dikurangi dengan nilai rata-rata intensitas komponen warna hijau sebesar window.

Implementasi *illumination equalization* ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.13**. Pada baris 1 implementasi perhitungan rata-rata untuk semua nilai komponen warna hijau pada *mask*. Pada baris 2 implementasi perhitungan rata-rata untuk semua nilai komponen warna hijau pada ukuran *window* sebesar 45 x 45. Pada baris 3 hingga 8 implementasi perhitungan ekualisasi pencahayaan.

1	<code>m = mean(G(fmaskImg));</code>
2	<code>G_bar_w = conv2(G,ones(45)/(45^2),'same');</code>
3	<code>illuminationequalization=double(zeros(size(G)));</code>
4	<code>for i=1:size(G,1)</code>
5	<code> for j=1:size(G,2)</code>
6	<code> illuminationequalization(i,j)=G(i,j)+m+G_bar_w(i,j);</code>
7	<code> end</code>
8	<code>end</code>

Kode Sumber 4.13 Implementasi *Illumination Equalization*

4.3.9. Implementasi *White Top-hat Transformation*

Tahap *white top-hat transformation* digunakan untuk mendapatkan daerah terang dari citra. Tahap ini dilakukan dengan operasi *opening*, dimana hasilnya daerah yang lebih gelap akan meningkatkan yang lebih terang.

Implementasi *white top-hat transformation* ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.14**. Pada baris 1 implementasi penerapan transformasi *white top-hat* untuk komponen warna hijau.

1	se = strel('disk',12);
2	whitetophattransformation = imtophat(G, se);

Kode Sumber 4.14 Implementasi White Top-Hat Transformation

4.4. Implementasi Deteksi Batasan Tepat untuk Tiap Kandidat

Tahap deteksi batasan tepat untuk tiap kandidat pada tugas akhir ini terdiri dari dua tahap yaitu metode *active contour* dan kombinasi tiap ekstraksi kontur.

Penjelasan dari masing-masing tahap tersebut adalah sebagai berikut:

4.4.1. Implementasi Metode *Active Contour*

Tahap metode *active contour* digunakan untuk mendapatkan daerah eksudat keras. Tahap ini diawali dengan menentukan *mask* yaitu *boundary* dari hasil ekstraksi kandidat. Selanjutnya menentukan *mark* yaitu citra hasil tiap *pre-processing* yang akan di segmentasi menggunakan metode *active contour* dan mendapatkan hasil *boundary*.

Implementasi metode *active contour* ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.15**. Pada baris 1 implementasi mendapatkan *boundary* kandidat eksudat sebagai inisialisasi *mask*. Pada baris 2 hingga 4 implementasi penentuan nilai parameter yang akan digunakan untuk segmentasi *active contour*. Pada baris 5 implementasi pengambilan citra hasil *pre-processing*. Pada baris 6 implementasi segmentasi citra *mark* yaitu citra hasil *pre-processing* menjadi *foreground* (objek) dan daerah *background* menggunakan *active contour* secara lokal dengan menggunakan metode Chan-Vese.

1	<code>maskImg = detectionexudates(inputImg, odImg);</code>
2	<code>lambda = .1;</code>
3	<code>iterations = 1000;</code>
4	<code>rad = 10;</code>
5	<code>markImg = eval(marker(i));</code>
6	<code>[segImg] = sfm_local_chanvese(markImg,maskImg, ...</code>
7	<code>iterations,lambda,rad);</code>

Kode Sumber 4.15 Implementasi Metode *Active Contour*

4.4.2. Implementasi Kombinasi Tiap Ekstraksi Kontur

Tahap kombinasi tiap ekstraksi kontur digunakan untuk mendapatkan daerah eksudat akhir. Tahap ini diawali dengan menggabungkan semua daerah kontur hasil ekstraksi. Selanjutnya pemberian skor untuk tiap piksel pada daerah hasil penggabungan. Didapatkan daerah baru dengan skor piksel lebih besar atau sama dengan nilai skor. Daerah-daerah ini dihitung nilai perbedaan simetris antara dua daerah yang berdekatan. Daerah dengan nilai total terendah dari tetangganya adalah daerah eksudat akhir.

Implementasi kombinasi tiap ekstraksi kontur ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.16**. Pada baris 1 hingga 2 implementasi penggabungan tiap kontur hasil segmentasi oleh ACM. Pada baris 3 implementasi inisialisasi citra awal tanpa nilai. Pada baris 4 hingga 5 implementasi mendapatkan tiap daerah pada citra biner hasil penggabungan tiap kontur hasil segmentasi. Pada baris 6 implementasi pencarian batasan yang tepat untuk tiap daerah kandidat mulai dilakukan. Pada baris 7 pengambilan piksel untuk daerah yang akan dilakukan analisis. Pada baris 8 hingga 14 menghitung perbedaan simetris antar dua daerah yang berdekatan. Pada baris 15 hingga 17 implementasi menghitung jumlah nilai perbedaan simetris antar tetangganya. Pada baris 18 hingga 24 implementasi ekstraksi daerah eksudat akhir yang didapatkan dari jumlah nilai perbedaan simetris yang terendah.

4.5. Implementasi Klasifikasi *Region-wise*

Tahap klasifikasi *region-wise* pada tugas akhir ini terdiri dari tiga tahap yaitu melakukan ekstraksi fitur, membagi data hasil

ekstraksi fitur menjadi data *training* dan *test* menggunakan metode *K-fold cross validation* (K=10), menentukan metode seleksi fitur, menentukan jumlah fitur yang akan digunakan, membuat model pembelajaran dari data *training*, melakukan klasifikasi dari model untuk data *test* dan melakukan evaluasi kinerja model.

1	RImg = false(size(inputImg,1),size(inputImg,2));
2	RImg = mat2gray(RImg + segImg);
3	R_comp_FImg = zeros(size(RImg,1),size(RImg,2));
4	BW = im2bw(RImg);
5	[L, num] = bwlabel(BW);
6	for k = 1:num
7	RImg_obj = ismember(L, k);
8	for i=1:8
9	numerator = imabsdiff(or(RImg_obj.*RImg>=i, ...
10	RImg_obj.*RImg>=i+1), and(RImg_obj.*RImg>=i, ...
11	RImg_obj.*RImg>=i+1));
12	denominator = RImg_obj.*RImg>=i;
13	d_R_comp(i) = sum(numerator(:))/sum(denominator(:));
14	end
15	for i=2:8
16	d_R_comp_sum(i-1) = d_R_comp(i-1)+d_R_comp(i);
17	end
18	try
19	R_comp_F=find(d_R_comp_sum==min(d_R_comp_sum))+1;
20	R_comp_FImg = R_comp_FImg + ...
21	(RImg_obj.*RImg>=R_comp_F);
22	catch
23	end
24	end

Kode Sumber 4.16 Implementasi Kombinasi Tiap Ekstraksi Kontur

Implementasi klasifikasi *region-wise* ditunjukkan pada **Kode Sumber 4.17**. Pada baris 1 hingga 2 implementasi ekstraksi fitur dari citra gabungan kontur. Pada baris 3 hingga 5 implementasi pembagian data *train* dan *test*. Pada baris 6 hingga 9 implementasi seleksi fitur berdasarkan kriteria yang diberikan. Pada baris 10

hingga 14 implementasi klasifikasi menggunakan *classifier* yang diuji dan mengevaluasi hasil yang diberikan.

1	[meas, class] = extract_features(R comp FImg, ...
2	folder_image);
3	indices = crossvalind('Kfold',class,10);
4	percentage_train = 60;
5	num_ind = 20;
6	criterion = 'ttest';
7	[res_rankfeat, abs_val] = rankfeatures(meas',class', ...
8	'Criterion', criterion,'NumberOfIndices', num_ind);
9	for i = 1:10
10	Xtrain = meas(train,res_rankfeat); Ytrain = class(train,:);
11	Xtest = meas(test,res_rankfeat); Ytest = class(test,:);
12	Mdl = fitcnb(Xtrain, Ytrain);
13	label = predict(Mdl, Xtest);
14	ConfusionTrain = confusionmat(label, Ytest);
15	[m, n] = find(label==Ytest);
16	Accuracy(i,:) = size(m,1)/sum(test)*100;
17	end
18	Evaluate(k,:) = mean(Accuracy);

Kode Sumber 4.17 Implementasi Klasifikasi *Region-wise*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V

PENGUJIAN DAN EVALUASI

Pada bab ini dibahas tentang hasil uji coba dan evaluasi pada sistem yang telah dirancang dan dibuat pada tugas akhir ini. Uji coba dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem dengan lingkungan uji coba yang telah ditentukan.

5.1. Lingkungan Uji Coba

Dalam proses pengujian sistem, dibutuhkan suatu lingkungan uji coba yang sesuai dengan standar kebutuhan. Uji coba sistem ini dilakukan dengan menggunakan *personal computer* (PC). Berikut ini spesifikasi PC yang digunakan.

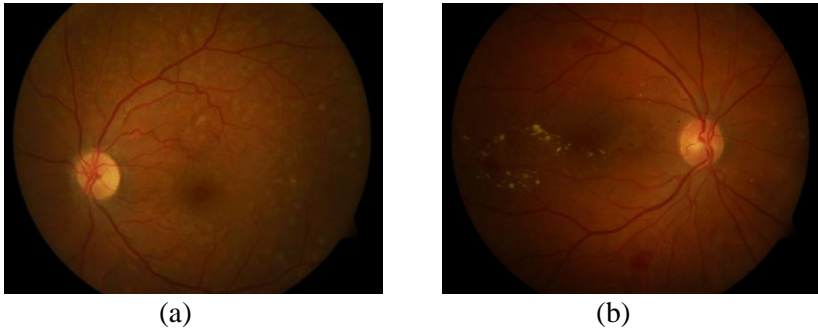
- Perangkat keras
 - Intel® Core™ i5-4460S CPU @ 2.90GHz 2.90 GHz
 - *Installed Memory* (RAM) 8,00 GB
- Perangkat lunak
 - Windows 10
 - MATLAB R2017a didukung dengan *toolbox* yaitu *image processing toolbox*
 - Adobe Photoshop CC 2017
 - Microsoft Excel
 - Weka 3.8

5.2. Data Uji Coba

Data uji coba yang digunakan sebagai masukan adalah citra fundus retina. Dari *Standard Diabetic Retinopathy Database Calibration level 1* (DIARETDB1) dilakukan pemilihan citra sebanyak 53 buah. Untuk menguji kebenaran dari hasil deteksi, digunakan data *annotation base* sebagai *ground truth* yang telah disediakan oleh DIARETDB1.

Untuk pemilihan citra dilakukan dengan mengambil citra berdasarkan *annotation base* dari DIARETDB1 yang terdeteksi sebagai *Unhealthy Image* sebanyak 48 buah, dan *Healthy Image*

sebanyak 5 buah. Contoh citra fundus retina beserta deteksinya berdasarkan *annotation base* dari DIARETDB1 ditunjukkan pada **Gambar 5.1**.



Gambar 5.1 Citra Fundus Retina DIARETDB1
(a) *Healthy Image*, (b) *Unhealthy Image*

5.3. Skenario Uji Coba

Uji coba dilakukan untuk mengetahui nilai parameter yang tepat untuk digunakan pada proses segmentasi eksudat dan pembelajaran klasifikasi untuk data *training*. Data masukan adalah 53 (dari 89) citra berisi eksudat dari *dataset* DIARETDB1. Nilai parameter seperti penggunaan nilai radius untuk segmentasi metode *active contour* yang tepat akan memberikan hasil deteksi dengan akurasi yang terbaik pada keluaran proses. Skenario pengujian dari proses optimasi klasifikasi adalah uji coba penentuan metode seleksi fitur. Skenario pengujian dari proses menemukan jumlah fitur penting adalah uji coba penentuan nilai jumlah fitur hasil peringkat dari seleksi fitur. Skenario pengujian dari proses pemberian label kandidat eksudat adalah uji coba perbandingan *classifier* pada klasifikasi *region-wise*.

5.3.1. Uji Coba Penentuan Nilai Radius pada Metode *Active Contour*

Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui nilai radius yang optimal untuk segmentasi objek pada citra hasil *pre-processing*

menggunakan metode *active contour*. Nilai radius yang optimal digunakan untuk menentukan suatu piksel dianggap sebagai kandidat eksudat keras atau bukan. Hal ini penting ditentukan oleh fungsi energi Chan-veese untuk tiap iterasi. Deteksi tepi batas didasarkan pada perbedaan intensitas piksel dan rata-rata intensitas *inside* dan *outside* kontur dalam radius yang diberikan.

Pengujian dilakukan dengan menghitung *sensitivity*, *specificity*, dan *accuracy* dari parameter nilai radius yang diuji untuk hasil deteksi penyakit *diabetic retinopathy*. Sehingga diketahui seberapa baik nilai radius untuk segmentasi menggunakan metode *active contour* yang dapat memberikan label benar dalam mempengaruhi hasil deteksi penyakit *diabetic retinopathy*. Nilai radius segmentasi yang diujikan adalah 5, 10, 15 dan 20.

Hasil uji coba ditunjukkan pada **Tabel 5.1**. Dari tabel tersebut terlihat bahwa nilai radius untuk segmentasi sebesar 20 memberikan hasil yang terbaik untuk deteksi penyakit *diabetic retinopathy* menghasilkan nilai *sensitivity*, *specificity* dan *accuracy* adalah 98.89%, 53.68% dan 94.47%.

Tabel 5.1 Hasil Uji Coba Penentuan Nilai Radius pada Metode *Active Contour*

Nilai Radius	Jumlah Kandidat Eksudat	Eksudat (TP)	Bukan Eksudat (FP)	SN (%)	SP (%)	ACC (%)
5	1168	1024	144	98.73	51.48	92.89
10	1479	1339	149	98.57	47.62	93.44
15	1701	1535	166	98.89	53.68	94.47
20	1753	1566	187	98.98	53.30	94.12

5.3.2. Uji Coba Penentuan Metode Seleksi Fitur

Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui metode seleksi fitur yang optimal dari banyaknya jumlah fitur hasil ekstraksi dari klasifikasi *region-wise*. Metode seleksi fitur yang optimal digunakan untuk menentukan fitur yang paling berpengaruh dengan memberikan peringkat untuk tiap fitur.

Pengujian dilakukan dengan menghitung *sensitivity*, *specificity*, dan *accuracy* dari parameter metode seleksi fitur yang diuji untuk hasil deteksi penyakit *diabetic retinopathy* menggunakan *confusion matrix*. Sehingga diketahui seberapa baik metode seleksi fitur yang dapat memberikan label benar dalam mempengaruhi hasil deteksi penyakit *diabetic retinopathy*. Metode seleksi fitur yang diujikan adalah *two-sample t-test*, *minimum attainable classification error (bhattacharyya)*, *relative entropy*, analisis ROC, dan uji Wilcoxon.

Tabel 5.2 Hasil Uji Coba Penentuan Metode Seleksi Fitur

Metode Seleksi Fitur	SN (%)	SP (%)	ACC (%)
<i>ttest</i>	99.02	51.80	94.40
<i>bhattacharyya</i>	98.89	53.68	94.47
<i>entropy</i>	98.89	53.68	94.47
<i>roc</i>	99.02	51.25	94.36
<i>wilcoxon</i>	98.76	44.08	93.42

Hasil uji coba ditunjukkan pada **Tabel 5.2**. Dari tabel tersebut terlihat bahwa metode seleksi fitur menggunakan *entropy* memberikan hasil yang terbaik untuk deteksi penyakit *diabetic retinopathy* menghasilkan nilai *sensitivity*, *specificity* dan *accuracy* adalah 98.89%, 53.68% dan 94.47%.

5.3.3. Uji Coba Penentuan Jumlah Fitur

Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui jumlah fitur yang optimal dari hasil peringkat seleksi fitur. Jumlah fitur yang optimal digunakan untuk meningkatkan kinerja pelabelan kandidat eksudat keras atau bukan. Hal ini penting ditentukan karena fitur yang kurang efisien dapat menjadi membuat kinerja klasifikasi menurun.

Pengujian dilakukan dengan menghitung *sensitivity*, *specificity*, dan *accuracy* dari parameter jumlah fitur yang digunakan hasil deteksi penyakit *diabetic retinopathy*. Sehingga diketahui seberapa baik jumlah fitur yang dapat memberikan label benar dalam mempengaruhi hasil deteksi penyakit *diabetic*

retinopathy. Jumlah fitur yang diujikan adalah 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 dan 100. Fitur terpilih untuk uji coba penentuan jumlah fitur terdapat pada lampiran.

Tabel 5.3 Hasil Uji Coba Penentuan Jumlah Fitur

Jumlah Fitur	SN (%)	SP (%)	ACC (%)
10	98.57	23.57	91.24
20	97.72	31.95	91.30
30	98.50	48.68	93.65
40	98.70	52.39	94.18
50	98.89	53.68	94.47
60	98.70	53.68	94.30
70	99.02	49.45	94.18
80	98.96	50.04	94.18
90	99.02	50.70	94.30
100	99.35	48.31	94.36

Hasil uji coba ditunjukkan pada **Tabel 5.3**. Dari tabel tersebut terlihat bahwa jumlah fitur sebanyak 50 memberikan hasil yang terbaik untuk deteksi penyakit *diabetic retinopathy* menghasilkan nilai *sensitivity*, *specificity* dan *accuracy* adalah 98.89%, 53.68% dan 94.47%. Fitur dari kelompok nilai intensitas *pre-processing* yang paling banyak berpengaruh dalam penentuan klasifikasi daerah kandidat eksudat.

5.3.4. Uji Coba Perbandingan *Classifier*

Uji coba ini dilakukan untuk menentukan *classifier* yang optimal berdasarkan kebenarannya dalam melakukan pelabelan. *Classifier* yang optimal digunakan untuk meningkatkan kinerja pelabelan kandidat eksudat keras atau bukan. Hal ini penting ditentukan karena *classifier* yang sesuai dapat meningkatkan kinerja klasifikasi.

Pengujian dilakukan dengan menghitung *sensitivity*, *specificity*, dan *accuracy* dari masing-masing *classifier* untuk hasil deteksi penyakit *diabetic retinopathy*. Sehingga diketahui seberapa

baik *classifier* yang dapat memberikan label benar dalam mempengaruhi hasil deteksi penyakit *diabetic retinopathy*. *Classifier* yang diujikan adalah naïve bayes, *k-nearest neighbors*, *gaussian discriminant analysis*, dan *logistic regression*.

Tabel 5.4 Hasil Uji Coba Penentuan Classifier

<i>Classifier</i>	<i>SN (%)</i>	<i>SP (%)</i>	<i>ACC (%)</i>
Naïve Bayes	76.10	65.07	75.02
KNN	98.89	53.68	94.47
GDA	98.44	39.93	92.71
<i>Logistic Regression</i>	99.74	21.84	92.12

Hasil uji coba ditunjukkan pada **Tabel 5.4**. Dari tabel tersebut terlihat bahwa algoritma *k-nearest neighbor's* memberikan hasil yang terbaik untuk deteksi penyakit *diabetic retinopathy* dengan nilai *sensitivity*, *specificity* dan *accuracy* adalah 98.89%, 53.68% dan 94.47%.

5.3.5. Uji Coba Penentuan Jumlah Tetangga Terdekat

Uji coba ini dilakukan untuk menentukan jumlah tetangga terdekat pada metode *classifier k-nearest neighbors* yang optimal berdasarkan kebenarannya dalam melakukan pelabelan. Jumlah tetangga yang optimal digunakan untuk meningkatkan kinerja pelabelan kandidat eksudat keras atau bukan. Hal ini penting ditentukan karena jumlah tetangga yang sesuai dapat meningkatkan kinerja klasifikasi.

Pengujian dilakukan dengan menghitung *sensitivity*, *specificity*, dan *accuracy* dari parameter jumlah tetangga terdekat yang diuji untuk hasil deteksi penyakit *diabetic retinopathy*. Sehingga diketahui seberapa baik jumlah tetangga terdekat yang dapat memberikan label benar dalam mempengaruhi hasil deteksi penyakit *diabetic retinopathy*. Parameter jumlah tetangga terdekat yang diujikan adalah 3, 5, 7 dan 9.

Tabel 5.5 Hasil Uji Coba Penentuan Jumlah Tetangga Terdekat

Jumlah Tetangga Terdekat	SN (%)	SP (%)	ACC (%)
3	98.89	53.68	94.47
5	99.61	41.69	93.94
7	99.67	36.870	93.53
9	99.61	34.48	93.24

Hasil uji coba ditunjukkan pada **Tabel 5.5**. Dari tabel tersebut terlihat bahwa jumlah tetangga terdekat sebesar 3 pada *classifier k-nearest neighbors* memberikan hasil yang terbaik untuk deteksi penyakit *diabetic retinopathy* dengan nilai *sensitivity*, *specificity* dan *accuracy* adalah 98.89%, 53.68% dan 94.47%.

5.3.6. Hasil Ketepatan Segmentasi Eksudat

Untuk mengetahui hasil kinerja berdasarkan ketepatan segmentasi eksudat tiap citra, 53 citra biner sebagai *ground-truth* telah dibuat secara manual berdasarkan label kasar dari empat ahli yang telah didefinisikan sebagai *ground-truth* untuk DIARETDB1. Hasil kinerja dilakukan dengan menghitung *sensitivity*, *ppv*, dan *f-score* untuk hasil deteksi eksudat tiap citra terdapat pada lampiran. Hasil kinerja ditunjukkan pada **Tabel 5.6**, dari tabel tersebut terlihat bahwa rata-rata nilai *sensitivity*, *ppv* dan *f-score* adalah 85.28%, 80.28% dan 82.23%.

Tabel 5.6 Hasil Ketepatan Segmentasi Eksudat

Nama Citra	<i>Sensitivity</i> (%)	PPV (%)	<i>F-Score</i> (%)
image003	74.58	93.46	82.96
image005	77.05	67.50	71.96
image006	88.53	94.76	91.54
image007	78.37	84.71	81.41
image011	70.24	73.15	71.67
image012	87.77	92.65	90.14
image014	87.97	80.11	83.86
image015	98.43	68.32	80.65
image017	86.10	84.91	85.50

image019	89.93	81.47	85.49
image025	89.45	76.99	82.75
image033	87.77	73.01	79.71
image053	92.42	72.55	81.29

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas mengenai kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil uji coba yang telah dilakukan sebagai jawaban dari rumusan masalah. Selain itu juga terdapat saran yang ditujukan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

6.1. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan yang diperoleh dari uji coba dan evaluasi yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perubahan nilai radius dalam segmentasi eksudat keras dengan metode *active contours* mempengaruhi hasil evaluasi kinerja. Hal ini dikarenakan jumlah nilai intensitas citra hasil *pre-processing* yang diambil pada ukuran radius tertentu mempengaruhi fungsi energi. Besarnya nilai radius dapat mendeteksi piksel yang bukan eksudat pada daerah terang dekat pembuluh darah.
2. Pemilihan metode dalam seleksi fitur mempengaruhi hasil evaluasi kinerja. Hal ini dikarenakan tiap metode menghasilkan peringkat fitur yang berbeda berdasarkan analisis statistiknya. Metode seleksi fitur *entropy* memberikan hasil evaluasi kinerja yang baik.
3. Perubahan jumlah fitur yang digunakan dalam melakukan klasifikasi mempengaruhi hasil evaluasi kinerja. Jumlah fitur 50 memberikan hasil evaluasi kinerja yang optimal. Pada kelompok ekstraksi fitur dari analisis nilai intensitas *pre-processing* mempunyai pengaruh besar dalam klasifikasi.
4. Untuk mendapatkan hasil klasifikasi yang optimal, beberapa *classifier* umum diujikan dalam membuat model pembelajaran. *Classifier k-Nearest Neighbors* mencapai nilai terbaik untuk tiap nilai metrik yang dievaluasi dibandingkan dengan *classifier* lainnya.
5. Perubahan parameter jumlah tetangga terdekat dalam melakukan klasifikasi KNN diujikan untuk mendapatkan

model pembelajaran yang optimal. Nilai jumlah tetangga yang optimal untuk proses klasifikasi KNN adalah 3.

6. Hasil kinerja proses ketepatan segmentasi eksudat menggunakan *active contour* memberikan hasil evaluasi kinerja dengan nilai rata-rata *sensitivity*, *ppv*, dan *f-score*, masing-masing adalah 85.28%, 80.28% dan 82.23%..

6.2. Saran

Saran-saran yang dapat diberikan dalam pengujian metode deteksi eksudat pada *diabetic retinopathy* untuk citra fundus retina adalah sebagai berikut:

Perlu dilakukan perbaikan citra fundus retina berbasis morfologi untuk menghilangkan pembuluh darah pada metode *pre-processing* citra karena hasil citra tanpa menghilangkan pembuluh darah kurang optimal jika digunakan sebagai data masukan untuk proses segmentasi menggunakan metode *active contour*. *Classifier region-wise* membuat model pembelajaran untuk kontur terang yang memiliki bentuk beragam atau dikenal eksudat. Jika komponen tersebut diubah, metode yang diusulkan dapat mendeteksi objek lain pada retina seperti lesi gelap (*hemorrhages*). Kedepannya penelitian untuk mendeteksi lesi gelap tersebut dapat diusulkan.

LAMPIRAN

A. Fitur Terpilih Uji Coba Jumlah Fitur 10

	Fitur <i>region-based</i>	Fitur <i>boundary-based</i>
Berdasarkan intensitas citra (8 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata (I_{CE}) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) (I_{CN}, I_{CL}) 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata (I_{CE}) - <i>standard deviation</i> (I_{CN}, I_{CL}) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) (I_{CN}, I_{CL})
Deskriptor secara Morfologi (bentuk) (2 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - area 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>perimeter</i>

B. Fitur Terpilih Uji Coba Jumlah Fitur 20

	Fitur <i>region-based</i>	Fitur <i>boundary-based</i>
Berdasarkan intensitas citra (16 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata (I_{CE}) - <i>standard deviation</i> (I_{CL}) - nilai terendah (I_{CN}, I_{CE}) - nilai terbesar (I_{CE}) - selisih (I_{CN}, I_{CL}) 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata (I_{CN}, I_{CL}) - <i>standard deviation</i> (I_{CN}, I_{CL}, I_{IE}) - nilai terendah (I_{CN}, I_{CE}) - nilai terbesar (I_{CE}) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) (I_{CL})
Berdasarkan <i>gradient magnitude</i> citra komponen warna hijau (2 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata 	<ul style="list-style-type: none"> - nilai terendah
Deskriptor secara Morfologi (bentuk) (2 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - area 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>perimeter</i>

C. Fitur Terpilih Uji Coba Jumlah Fitur 30

	Fitur <i>region-based</i>	Fitur <i>boundary-based</i>
Berdasarkan intensitas citra (26 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata (I_{CN}, I_{CE}, I_{IC}) - <i>standard deviation</i> (I_{CL}) - nilai terendah ($G, I_{CN}, I_{CE}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar (I_{CE}) - selisih (I_{CN}, I_{CL}) 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata (I_{CE}) - <i>standard deviation</i> ($I, I_{CN}, I_{CL}, I_{IE}$) - nilai terendah ($G, I_{CN}, I_{CE}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar (I_{CE}) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) (I_{CN}, I_{CL}, I_{IE})
Berdasarkan <i>gradient magnitude</i> citra komponen warna hijau (2 fitur)	- rata-rata	- nilai terendah
Deskriptor secara Morfologi (bentuk) (2 fitur)	- area	- <i>perimeter</i>

D. Fitur Terpilih Uji Coba Jumlah Fitur 40

	Fitur <i>region-based</i>	Fitur <i>boundary-based</i>
Berdasarkan intensitas citra (36 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I_{CN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - <i>standard deviation</i> (I_{CL}) - nilai terendah ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar (I_{CE}, I_{IC}) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) (I_{CN}, I_{CL}) 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I_{CN}, I_{CE}, I_{IE}$) - <i>standard deviation</i> ($I, I_{CN}, I_{CL}, I_{IE}$) - nilai terendah ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar (I_{CE}) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) (I_{CN}, I_{CL}, I_{IE})
Berdasarkan <i>gradient magnitude</i> citra komponen warna hijau (2 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata 	<ul style="list-style-type: none"> - nilai terendah
Deskriptor secara Morfologi (bentuk) (2 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - area 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>perimeter</i>

E. Fitur Terpilih Uji Coba Jumlah Fitur 50

	Fitur <i>region-based</i>	Fitur <i>boundary-based</i>
Berdasarkan intensitas citra (45 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - <i>standard deviation</i> (I_{CL}, I_{IC}) - nilai terendah ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar ($G, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}$) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) (I_{CN}, I_{CL}) 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}$) - <i>standard deviation</i> ($I, I_{CN}, I_{CL}, I_{IE}$) - nilai terendah ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar (G, I_{CE}, I_{IE}) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) (I_{CN}, I_{CL}, I_{IE})
Berdasarkan <i>gradient magnitude</i> citra komponen warna hijau (3 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata - nilai terendah
Deskriptor secara Morfologi (bentuk) (2 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - area 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>perimeter</i>

F. Fitur Terpilih Uji Coba Jumlah Fitur 60

	Fitur <i>region-based</i>	Fitur <i>boundary-based</i>
Berdasarkan intensitas citra (55 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - <i>standard deviation</i> ($I_{CN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{WT}$) - nilai terendah ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar ($G, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}$) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) (I_{CN}, I_{CL}) 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - <i>standard deviation</i> ($I, I_{CN}, I_{CL}, I_{IE}$) - nilai terendah ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar ($G, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}$) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) ($I, I_{CN}, I_{CL}, I_{IE}$)
Berdasarkan <i>gradient magnitude</i> citra komponen warna hijau (3 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata - nilai terendah
Deskriptor secara Morfologi (bentuk) (2 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - area 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>perimeter</i>

G. Fitur Terpilih Uji Coba Jumlah Fitur 70

	Fitur <i>region-based</i>	Fitur <i>boundary-based</i>
Berdasarkan intensitas citra (64 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - <i>standard deviation</i> ($G, I_{CN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{WT}$) - nilai terendah ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar ($G, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) ($I, I_{CN}, I_{CL}, I_{IE}$) 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - <i>standard deviation</i> ($I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{IE}$) - nilai terendah ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}$) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) ($I, I_{CN}, I_{CL}, I_{IE}$)
Berdasarkan <i>gradient magnitude</i> citra komponen warna hijau (4 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata - nilai terendah 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata - nilai terendah
Deskriptor secara Morfologi (bentuk) (2 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - area 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>perimeter</i>

H. Fitur Terpilih Uji Coba Jumlah Fitur 80

	Fitur <i>region-based</i>	Fitur <i>boundary-based</i>
Berdasarkan intensitas citra (73 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - <i>standard deviation</i> ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{WT}$) - nilai terendah ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) ($I, I_{CN}, I_{CL}, I_{IE}$) 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - <i>standard deviation</i> ($I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{IE}$) - nilai terendah ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) ($I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{IE}, I_{WT}$)
Berdasarkan <i>gradient magnitude</i> citra komponen warna hijau (5 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata - nilai terendah 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata - <i>standard deviation</i> - nilai terendah
Deskriptor secara Morfologi (bentuk) (2 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - area 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>perimeter</i>

I. Fitur Terpilih Uji Coba Jumlah Fitur 90

	Fitur <i>region-based</i>	Fitur <i>boundary-based</i>
Berdasarkan intensitas citra (81 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - <i>standard deviation</i> ($G, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terendah ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) ($I, I_{CN}, I_{CL}, I_{IC}, I_{IE}$) 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - <i>standard deviation</i> ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IE}$) - nilai terendah ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IE}, I_{WT}$)
Berdasarkan <i>gradient magnitude</i> citra komponen warna hijau (7 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata - <i>standard deviation</i> - nilai terendah 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata - <i>standard deviation</i> - nilai terendah - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar)
Deskriptor secara Morfologi (bentuk) (2 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - area 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>perimeter</i>

J. Fitur Terpilih Uji Coba Jumlah Fitur 100

	Fitur <i>region-based</i>	Fitur <i>boundary-based</i>
Berdasarkan intensitas citra (87 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - <i>standard deviation</i> ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terendah ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) ($I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}$) 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - <i>standard deviation</i> ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terendah ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - nilai terbesar ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$) - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar) ($G, I, I_{CN}, I_{GN}, I_{CL}, I_{CE}, I_{IC}, I_{IE}, I_{WT}$)
Berdasarkan <i>gradient magnitude</i> citra komponen warna hijau (7 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata - <i>standard deviation</i> - nilai terendah 	<ul style="list-style-type: none"> - rata-rata - <i>standard deviation</i> - nilai terendah - selisih (perbedaan nilai terendah dan terbesar)
Deskriptor secara Morfologi (bentuk) (6 fitur)	<ul style="list-style-type: none"> - <i>compactness</i> - area - jumlah lubang - <i>elongatedness</i> - <i>eccentricity</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>perimeter</i>

K. *Confussion Matrix* Model Pembelajaran dengan Semua Parameter Yerbaik

Confussion Matrix Model Pembelajaran Iterasi 1

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	151	2	153
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	8	9	17
		159	11	170

Confussion Matrix Model Pembelajaran Iterasi 2

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	153	1	154
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	8	8	16
		161	9	170

Confussion Matrix Model Pembelajaran Iterasi 3

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	152	1	153
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	9	7	16
		161	8	169

Confussion Matrix Model Pembelajaran Iterasi 4

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	151	3	154
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	7	9	16
		158	12	170

Confussion Matrix Model Pembelajaran Iterasi 5

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	153	0	153
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	7	10	17
		160	10	170

Confussion Matrix Model Pembelajaran Iterasi 6

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	153	1	154
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	11	6	17
		164	7	171

Confussion Matrix Model Pembelajaran Iterasi 7

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	152	2	154
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	6	11	17
		158	13	171

Confussion Matrix Model Pembelajaran Iterasi 8

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	152	1	153
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	4	12	16
		156	13	169

Confussion Matrix Model Pembelajaran Iterasi 9

		Predicted class		
		Eksudat (yes)	Bukan Eksudat (no)	
Actual class	Eksudat (yes)	150	4	154
	Bukan Eksudat (no)	6	11	17
		156	15	171

Confussion Matrix Model Pembelajaran Iterasi 10

		Predicted class		
		Eksudat (yes)	Bukan Eksudat (no)	
Actual class	Eksudat (yes)	151	2	153
	Bukan Eksudat (no)	11	6	17
		162	8	170

L. *Confussion Matrix* Ketepatan Segmentasi Eksudat

Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image003.png

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	443	151	594
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	31	1727045	1727076
		474	1727196	1727670

Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image005.png

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	20038	5968	26006
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	9651	1687732	1697383
		29689	1693700	1723389

Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image006.png

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	2045	265	2310
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	113	1724862	1724975
		2158	1725127	1727285

Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image007.png

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	6514	1798	8312
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	1176	1716300	1717476
		7690	1718098	1725788

Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image011.png

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	2485	1053	3538
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	912	1722414	1723326
		3397	1723467	1726864

Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image012.png

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	1614	225	1839
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	128	1725570	1725698
		1742	1725795	1727537

Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image014.png

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	13581	1857	15438
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	3371	1706032	1709403
		16952	1707889	1724841

Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image015.png

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	11905	190	12095
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	5522	1708401	1713923
		17427	1708591	1726018

Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image017.png

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	2471	399	2870
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	439	1723642	1724081
		2910	1724041	1726951

Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image019.png

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	24382	2729	27111
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	5545	1690861	1696406
		29927	1693590	1723517

Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image025.png

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	10390	1226	11616
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	3105	1710647	1713752
		13495	1711873	1725368


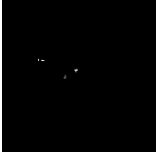



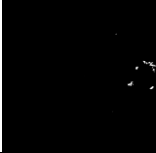






Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image033.png




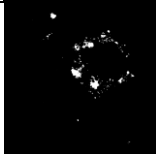



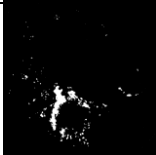
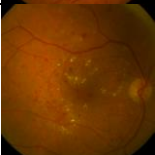
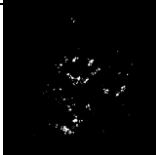

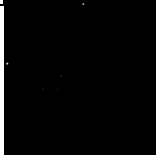


		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	165	23	188
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	61	1727699	1727760
		228	226	1727722

Confussion Matrix Klasifikasi Piksel Citra image053.png

		<i>Predicted class</i>		
		<i>Eksudat (yes)</i>	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	
<i>Actual class</i>	<i>Eksudat (yes)</i>	2048	168	2216
	<i>Bukan Eksudat (no)</i>	775	1724193	1724968
		228	2823	1724361

M. Hasil Segmentasi Deteksi Eksudat

No.	Citra	Nama Citra			Hasil Sementasi Eksudat
		<i>Sensitivity (%)</i>	<i>PPV (%)</i>	<i>F-Score (%)</i>	
1		image003.png			
		74.58	93.46	82.96	
2		image005.png			
		77.05	67.49	71.96	
3		image006.png			
		88.53	94.76	91.54	
4		image007.png			
		78.37	84.71	81.41	
5		image011.png			
		70.24	73.15	71.67	
6		image012.png			
		87.77	92.65	90.14	

7		image014.png			
		87.97	80.11	83.86	
8		image015.png			
		98.43	68.31	80.65	
9		image017.png			
		86.10	84.91	85.50	
10		image019.png			
		89.93	81.47	85.49	
11		image025.png			
		89.45	76.99	82.75	
12		image033.png			
		87.77	73.01	79.71	
13		image053.png			
		92.42	72.55	81.29	

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Penyakit Diabetic Retinopathy,” Slutena, 16 September 2014. [Online]. Available: <https://slutena2017.wordpress.com/2014/09/16/penyakit-diabetic-retinopathy/>. [Diakses 13 5 2018].
- [2] T. Walter, J.-C. Klein, P. Massin dan A. Erginay, “A contribution of image processing to the diagnosis of diabetic retinopathy – detection of exudates in color fundus images of the human retina,” *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 21, pp. 1236-1243, 2002.
- [3] B. Harangi dan A. Hajdu, “Automatic exudate detection by fusing multiple active contours and regionwise classification,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 54, pp. 156-171, 2014.
- [4] J. Xu, O. Chutatape, E. Sung, C. Zheng dan P. C. T. Kuan, “Optic disk feature extraction via modified deformable model technique for glaucoma analysis,” *Pattern Recognition*, vol. 40, no. 7, pp. 2063-2076, 2007.
- [5] S. S. Basha dan D. K. S. Prasad, “Automatic Detection of Hard Exudates in Diabetic Retinopathy Using Morphological Segmentation and Fuzzy Logic,” *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 8, pp. 211-218, 2008.
- [6] R. Kusumanto dan A. N. Tompunu, “Pengolahan Citra Digital untuk Mendeteksi Obyek menggunakan Pengolahan Warna Model Normalisasi RGB,” *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan 2011 (Semantik 2011)*, 2011.
- [7] E. R. Dougherty, *An introduction to morphological image processing*, SPIE Optical Engineering Press, 1992.
- [8] R. Fisher, S. Perkins, A. Walker dan E. Wolfart, “Hypermedia Image Processing Reference (HIPR2),” 2003.

- [Online]. Available:
<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/strctel.htm>.
 [Diakses 14 May 2018].
- [9] B. Jähne, *Digital Image Processing*, Springer, 2015.
- [10] “Computer Science 831: Knowledge Discovery in Databases,” Howard Hamilton, 8 June 2012. [Online]. Available:
http://www2.cs.uregina.ca/~dbd/cs831/notes/confusion_matrix/confusion_matrix.html. [Diakses 14 May 2018].
- [11] K. C. Kirana, “Pembobotan Arah dan Besaran Gradien pada Ant Colony Optimization Untuk Deteksi Tepi Citra,” *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2015.
- [12] I. G. Adillion, A. Z. Arifin dan D. A. Navastara, “Segmentasi Trabecular Bone pada Dental Panoramic Radiograph menggunakan K-means Clustering dan Root Guided Decision Tree (RGDT),” *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2017.
- [13] D. Anggarawati, H. Tjandrasa dan A. Yuniarti, “Segmentasi Area Makula pada Citra Fundus Retina dengan Operasi Morfologi,” *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2012.
- [14] H. Tjandrasa, R. E. Putra, A. Y. Wijaya dan I. Ariesianti, “Classification of non-proliferative diabetic retinopathy based on hard exudates using soft margin SVM,” *2013 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, 2013.
- [15] R. C. Gonzalez, R. E. Woods dan S. L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*, New Jersey: Pearson Education, 2004.
- [16] “Stanford Exploration Project,” Stanford University, 3 August 1999. [Online]. Available:
http://sep.stanford.edu/public/docs/sep99/cohy_Fig/paper_html/node15.html. [Diakses 14 May 2018].

- [17] R. J. Qureshi, L. Kovacs, B. Harangi, B. Nagy, T. Peto dan A. Hajdu, "Combining algorithms for automatic detection of optic disc and macula in fundus images," *Computer Vision and Image Understanding*, pp. 138-145, 2012.
- [18] K. Zuiderveld, "Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization," *Graphics Gems IV*, pp. 474-485, 1994.
- [19] J. B. Martinkauppi dan M. Pietikäinen, "Facial skin color modeling," dalam *Handbook of Face Recognition*, New York, Springer, 2005, pp. 113-135.
- [20] C. I. Sanchez, R. Hornero, M. I. Lopez, M. Aboy, J. Poza dan D. Abasolo, "A Novel Automatic Image Processing Algorithm for Detection of Hard Exudates based on Retinal Image Analysis," *Medical Engineering and Physics*, vol. 30, no. 3, pp. 350-357, 2008.
- [21] K. A. Goatman, A. D. Whitwam, A. Manivannan, J. A. Olson dan P. F. Sharp, "Colour normalisation of retinal images," *Proceedings of the Conference on Medical Image Understanding and Analysis*, pp. 49-52, 2003.
- [22] A. J. Framea, P. E. Undrilla, M. J. Creea, J. A. Olsonb, K. C. McHardyc, P. F. Sharpa dan J. V. Forresterb, "A comparison of computer based classification methods applied to the detection of microaneurysms in ophthalmic fluorescein angiograms," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 28, no. 3, pp. 225-238, May 1998.
- [23] A. Hoover dan M. Goldbaum, "Locating the Optic Nerve in a Retinal Image Using the Fuzzy Convergence of the Blood Vessels," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 22, no. 8, pp. 951-958, 2003.
- [24] F. Meyer, "Contrast feature extraction," *Proceedings of the Symposium on Quantitative Analysis of Microstructures in Material Science, Biology and Medicine*, pp. 374-380, 1977.

- [25] R. T. Whitaker, "A Level-Set Approach to 3D Reconstruction from Range Data," *International Journal of Computer Vision*, vol. 29, no. 3, pp. 202-231, September 1998.
- [26] G. H. John dan P. Langley, "Estimating Continuous Distributions in Bayesian Classifiers," *Uncertain. Artif. Intell.*, pp. 338-345, 1995.
- [27] "Ensemble based system in decision making," *IEEE Circuits and Systems Magazine*, vol. 6, no. 3, pp. 21-45, 2006.

BIODATA PENULIS



Penulis, **Ahmad Afiif Naufal**, lahir di Surabaya, 30 Maret 1995. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SD Negeri Gayungan 1/422, Surabaya. Melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 22 Surabaya dan selanjutnya di SMA Negeri 6 Surabaya. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Departemen Informatika, Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama kuliah, penulis aktif menjadi administrator Laboratorium Pemrograman Informatika, asisten praktikum Sistem Basis Data, asisten PIKTI dan aktif dalam organisasi tingkat departemen dan kepanitiaan yang mendukung minatnya di bidang jurnalistik. Diantaranya penulis berpartisipasi sebagai anggota *Departement of Information Media* BEM FTIf (2015-2017), anggota Departemen Media Informasi HMTTC (2015-2016), anggota biro Web dan Kesekretariatan Schematics 2015 dan 2016 dan panitia Pelatihan Jurnalistik Tingkat Dasar HMTTC 2016.

Penulis juga mengikuti kegiatan di bidang olahraga sebagai anggota aktif Unit Kegiatan Mahasiswa ITS UKM Unit Kegiatan Tari dan Karawitan (2014-2017). Penulis juga mengikuti kegiatan pelatihan, diantaranya berpartisipasi sebagai peserta aktif LKMM Pra Tingkat Dasar FTIf 2014 dan peserta Pelatihan Jurnalistik Tingkat Dasar HMTTC 2015.

Dalam menyelesaikan pendidikan S1, penulis mengambil bidang minat Komputasi Cerdas Visi (KCV) dan memiliki ketertarikan dalam bidang Data Mining, Komputasi Biomedik, Pengolahan Citra Digital dan Visi Komputer. Penulis dapat dihubungi melalui email: afiif.naufal@yahoo.co.id